



FINAL PROJECT – TM 095502

**EFFECT OF VARIATION ELECTRIC
CURRENT AMPERE 90 AND 110 ON THE
MECHANICAL PROPERTIES OF THE
MATERIAL SA 36 JOINED BY METHOD
WELDING SMAW**

**FAHRUDY DWI WICAKSONO
NRP 2111 030 056**

**Academic Supervisor
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDY DIPLOMA III
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015**



TUGAS AKHIR – TM 095502

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK 90
DAN 110 AMPERE TERHADAP SIFAT
MEKANIK MATERIAL SA 36 YANG
DISAMBUNG DENGAN METODE
PENGELASAN SMAW**

**FAHRUDY DWI WICAKSONO
NRP 2111 030 056**

**Dosen Pembimbing
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

“PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK 90 DAN 110 AMPERE TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL SA 36 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE PENGELASAN SMAW”

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

FAHRUDY DWI WICAKSONO
NRP 2111 030 056

Mengerahkan dan Menyetujui
Dosen Pembimbing


Ir. Gatot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001

SURABAYA,

FEBRUARI 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pengelasan	5
2.1.1 Las SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	5
2.1.1.1 Proses Las SMAW	7
A. Sumber Tegangan DC atau AC	8
B. Kabel Masa dan Kabel Elektroda (<i>Ground Cable and Electrode cable</i>)	9
C. Pemegang Elektroda dan Klem Masa (<i>Holder and Claim Masa</i>)	10
D. Palu Las dan Sikat Kawat (<i>Chipping Hammer and Wire Brush</i>)	11
2.1.2 Karakteristik Listrik (<i>electrical characteristic</i>)	12

2.1.3 Posisi Pengelasan.....	13
2.1.4 Klasifikasi Las Berdasarkan Sambungan dan Bentuk Alurnya	14
A. Sambungan Las Dasar	14
B. Sambungan Tumpul.....	14
2.1.5 Heat Input	15
2.1.6 Daerah Pengaruh Panas HAZ (Heat Affected Zone).....	17
2.1.7 Elektroda (<i>Electrode</i>).....	18
2.1.8 Penyalaan Busur	20
2.1.9 Parameter Pengelasan	21
A. Diameter Elektroda.....	21
B. Penggunaan Amper.....	21
C. Kecepatan pengelasan (<i>welding speed</i>).....	22
D. Ketebalan Pelat	22
2.2 Material SA 36	23
2.2.1 Kandungan karbon.....	25
2.3 Sifat Mekanik Material.....	27
A. Kekuatan (Strenght)	27
B. Kekakuan (<i>stiffness</i>).....	27
C. Kekenyalan (<i>elasticity</i>)	27
D. Plastisitas (<i>plasticity</i>)	27
E. Keuletan (<i>ductility</i>).....	28
F. Ketangguhan (<i>toughness</i>).....	28
G. Kegetasan (<i>brittleness</i>)	28
H. Kelelahan (<i>fatigue</i>)	28
I. Melar (<i>creep</i>)	28
J. Kekerasan (<i>hardness</i>).....	29
2.4 Pengujian Bahan Material.....	29
2.4.1 Pengujian Tarik (<i>Universal Test</i>)	29
2.4.2 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam.....	32
A. Batas Elastis σ_e (<i>Elastic Limit</i>).....	32

B. Batas Proporsional σ_p (<i>proportional limit</i>)	33
C. Deformasi Plastik (<i>plastic deformation</i>)	33
D. Tegangan Luluh Atas σ_{uy} (<i>upper yield stress</i>).....	33
E. Tegangan Luluh Bawah σ_{ly} (<i>lower yield stress</i>).....	33
F. luluh ϵ_y (<i>yield strain</i>)	33
G. Regangan elastis ϵ_e (<i>elastic strain</i>)	34
H. Regangan plastis ϵ_p (<i>plastic strain</i>)	34
I. Regangan total (<i>total strain</i>)	34
J. Tegangan tarik maksimum TTM (<i>UTS, ultimate tensile strength</i>)	34
K. Kekuatan Patah (<i>Breaking Strength</i>)	34
2.4.3 Tegangan Luluh Perubahan Elastis dan Plastik	35
2.4.4 Istilah F. Regangan lain yang penting seputar interpretasi hasil uji tarik	36
A. Kelenturan (<i>ductility</i>).....	36
B. Derajat kelentingan (<i>resilience</i>)	36
C. Derajat ketangguhan (<i>toughness</i>).....	36
D. Pengerasan regang (<i>strain hardening</i>).....	36
E. Tegangan sejati, regangan sejati (<i>true stress, true strain</i>)	36
2.4.5 Pengujian Kekerasan (<i>Hardness Test</i>)	37
2.4.5.1 Dasar-Dasar Pengujian Kekerasan.....	38
2.4.5.2 Metode Pengujian Kekerasan.....	38
2.4.6 Pengujian Metalografi (<i>Metalography Test</i>) ...	41
A. Pengujian Mikro	41
B. Pengujian Makro	41
2.4.6.1 Struktur Mikro dan Makro pada Base Metal, HAZ, dan Weld Metal	49
2.4.6.2 <i>Multilayer</i>	51

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian.....	53
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian	54
3.3 Tempat Penelitian.....	54
3.4 Langkah kerja.....	54
3.4.1 Studi literatur	54
3.4.2 Persiapan Material	54
3.4.3 Pengelasan.....	56
A. Arus 90 Amper.....	56
B. Arus 110 Amper	56
3.4.4 Persiapan Benda uji.....	58
3.4.5 Pengambilan Test Piece	58
A. Pengujian Kekerasan	59
B. Pengujian Tarik	60
C. Pengujian Metalography	63

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengelasan Spesimen	65
4.2 Uji Tarik (<i>Tensile strenght</i>).....	66
4.3 Uji Kekerasan (<i>Hardness Rockwell</i>)	74
4.4 Analisa Pengujian <i>Metalography</i>	79
4.4.1 Pengujian <i>Makro</i>	80
4.4.2 Pengujian <i>Mikro</i>	84
4.5 Hubungan antara Kekerasan dan Tarik terhadap <i>Mikro</i> struktur.....	87

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	89
5.2 Saran.....	90

DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Arus DC (<i>Direct Current</i>)	12
Tabel 2.2 Arus AC (<i>Alternating Current</i>)	13
Tabel 2.3 Karakteristik Hasil Pengelasan	17
Tabel 2.4 Macam-macam jenis selaput (<i>fluks</i>).....	19
Tabel 2.5 Nilai <i>Chemical Composition</i>	23
Tabel 2.6 Sifat Mekanik SA 36.....	23
Tabel 2.7 Karakteristik dari 5 Elemen pada besi.....	24
Tabel 2.8 Klasifikasi Baja Karbon.....	26
Tabel 2.9 Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	39
Tabel 4.1 Logam induk dan pengisi.....	65
Tabel 4.2 Parameter pengelasan 90 Amper	65
Tabel 4.3 Parameter pengelasan 110 Amper	65
Tabel 4.4 Heat Input	66
Tabel 4.5 Data Uji Tarik	68
Tabel 4.6 Nilai rata-rata Uji tarik.....	73
Tabel 4.7 Data Hasil Uji kekerasan	76
Tabel 4.8 Nilai rata-rata Uji kekerasan	78
Tabel 4.9 Data hasil HAZ	82
Tabel 4.10 Lebar (Y) rata-rata HAZ secara aktual	82
Tabel 4.11 Lebar (Y) HAZ secara teoritis.....	83
Tabel 4.12 Luas (A) total HAZ.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW.....	6
Gambar 2.2 Perangkat Pengelasan SMAW	7
Gambar 2.3 Mesin Las DC.....	8
Gambar 2.4 Mesin Las AC.....	9
Gambar 2.5 Kabel elektroda.....	10
Gambar 2.6 Kabel masa	10
Gambar 2.7 Pemegang Elektroda.....	11
Gambar 2.8 Klem masa	11
Gambar 2.9 Palu las.....	12
Gambar 2.10 Sikat kawat	12
Gambar 2.11 Posisi Las.....	13
Gambar 2.12 Jenis-Jenis Sambungan Dasar	14
Gambar 2.13 Jenis sambungan las tumpul	15
Gambar 2.14 Penampang lintang daerah HAZ.....	18
Gambar 2.15 Elektroda Terbungkus	18
Gambar 2.16 Penyalaaan busur dengan metode Menggores (<i>striking</i>).....	20
Gambar 2.17 Penyalaaan busur dengan metode Mengetuk (<i>tapping</i>)	20
Gambar 2.18 Bentuk-bentuk deposit las dan penyebabnya	23
Gambar 2.19 Hubungan antara Kandungan Karbon Dan Sifat Mekanis.....	26
Gambar 2.20 Kurva tegangan-regangan.....	30
Gambar 2.21 Mesin Uji Tarik	32
Gambar 2.22 Contoh data hasil Uji Tarik	34
Gambar 2.23 Kurva Tegangan Luluh.....	35
Gambar 2.24 Bentuk patahan	36
Gambar 2.25 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	38
Gambar 2.26 Pantulan Sinar Pada <i>Metalograph Test</i>	41
Gambar 2.27 Alat Penguji Struktur Mikro	41
Gambar 2.28 Keterangan Garis	43
Gambar 2.29 Jajar genjang.....	44
Gambar 2.30 Ferrit	45

Gambar 2.31 Pearlite.....	46
Gambar 2.32 Austenite.....	46
Gambar 2.33 Ledeburite.....	47
Gambar 2.34 Cementite.....	47
Gambar 2.35 Bainite.....	48
Gambar 2.36 Martensite.....	48
Gambar 2.37 Karakteristik sambungan las pada logam murni Fe – Fe ₃ C.....	50
Gambar 2.38 Typical Heat Cycles 5 Δ t 8/5 (Temperatur 800° – 500°/ 300° C) Multi Layer	51
Gambar 2.39 Typical Heat Cycles 6 Δ t 8/5 (Temperatur 800° – 500°/ 300° C) Multi Layer	52
Gambar 3.1 <i>Flow Chart</i> Diagram.....	53
Gambar 3.2 Dimensi Material	55
Gambar 3.3 Sudut Bevel Yang Digunakan	55
Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30°.....	55
Gambar 3.5 Hasil Las dengan menggunakan 90 Amper	56
Gambar 3.6 Hasil Las dengan menggunakan 110 Amper.....	57
Gambar 3.7 Proses Pengelasan	57
Gambar 3.8 Tank <i>Ampere</i>	57
Gambar 3.9 Pemanas Filler	56
Gambar 3.10 Filler Las E 7016 sebagai Tembusan dan Isian	58
Gambar 3.11 Alat uji kekerasan Rockwell.....	59
Gambar 3.12 Lokasi indentasi uji kekerasan.....	59
Gambar 3.13 Dimensi Specimen <i>Tarik</i>	60
Gambar 3.14 Spesimen pengujian tarik pada plat yang di sambung dengan menggunakan 90 Amper.....	62
Gambar 3.15 Spesimen pengujian tarik pada plat yang di sambung dengan menggunakan 110 Amper.....	62
Gambar 3.16 Alat dan bahan untuk proses etsa	63
Gambar 3.17 Larutan Etsa (Alkohol 95%).....	64

Gambar 3.18 Larutan Etsa (HNO_3)	64
Gambar 3.19 Kertas Gosok ukuran 80,150,500 dan 1000	64
Gambar 4.1 Lokasi Indentasi.....	66
Gambar 4.2 Lokasi indentasi pada benda yang Sebenarnya di las dengan 90 Amper dan 110 Amper	67
Gambar 4.3 Lokasi Indentasi hasil patahan.....	67
Gambar 4.4 Lokasi indentasi hasil patah pada benda yang Sebenarnya di las dengan 90 Amper dan 110 Amper	67
Gambar 4.5 Grafik Nilai Regangan (Σ) spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Amper.....	68
Gambar 4.6 Grafik Nilai Regangan (Σ) spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Amper.....	69
Gambar 4.7 Grafik Nilai Regangan (Σ) spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Amper	69
Gambar 4.8 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Amper	70
Gambar 4.9 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Amper	70
Gambar 4.10 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Amper	71
Gambar 4.11 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Amper	71
Gambar 4.12 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Amper	72
Gambar 4.13 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Amper	72
Gambar 4.14 Grafik nilai rata-rata Uji Tarik.....	73
Gambar 4.15 Lokasi Indentasi Kekerasan.....	74
Gambar 4.16 Lokasi indentasi pada benda sebenarnya.....	75
Gambar 4.17 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada Base Metal sebelah Kiri.....	77
Gambar 4.18 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada HAZ sebelah Kiri.....	77

Gambar 4.19 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada Weld Metal sebelah Kiri	78
Gambar 4.20 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan	79
Gambar 4.21 HAZ hasil pengelasan arus listrik 90 Ampere	80
Gambar 4.22 Dimensi HAZ hasil pengelasan arus listrik 90 Ampere	80
Gambar 4.23 Hasil HAZ hasil pengelasan arus listrik 110 Ampere	81
Gambar 4.24 Dimensi HAZ hasil pengelasan arus listrik 110 Ampere	81
Gambar 4.25 Grafik nilai Lebar (Y) Rata-rata HAZ secara aktual.....	82
Gambar 4.26 Grafik nilai Lebar (Y) HAZ secara teoritis	83
Gambar 4.27 Grafik Luas (A) Total HAZ.....	84
Gambar 4.28 Struktur Mikro bagian Base Metal pada pengelasan arus listrik 90 Ampere.....	85
Gambar 4.29 Struktur Mikro bagian HAZ pada pengelasan arus listrik 90 Ampere.....	85
Gambar 4.30 Struktur Mikro bagian Weld Metal pada pengelasan arus listrik 90 Ampere.....	85
Gambar 4.31 Struktur Mikro bagian Base Metal pada pengelasan 110 Ampere.....	85
Gambar 4.32 Struktur Mikro bagian HAZ pada pengelasan arus listrik 110 Ampere.....	86
Gambar 4.33 Struktur Mikro bagian Weld Metal pada pengelasan arus listrik 110 Ampere.....	86

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

**“PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK 90 DAN 110
AMPERE TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL
SA 36 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE
PENGELASAN SMAW”**

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Gathot Dwi Winarto, MT selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MSc selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya.
3. Ibu Lisa Rusdiyana, ST, MT selaku Koordinator Tugas Akhir.
4. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Ir. Arino Anzip, M.Sc selaku Dosen Wali.
6. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta adik yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
7. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
8. Teman – teman angkatan 2011 dan 2012, atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini, yang telah memberikan bantuan, dukungan, motivasi dan doa kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
9. Serta berbagai pihak yang belum tertulis, terima kasih atas kerjasama dan bantuan yang telah diberikan, sehingga tugas akhir ini bisa terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Oktober 2015

Penulis

**PENGARUH VARIASI ARUS LISTRIK 90 DAN 110
AMPERE TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL
SA 36 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE
PENGELASAN SMAW**

Nama : Fahrudy Dwi Wicaksono
NRP : 2111 030 056
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstrak

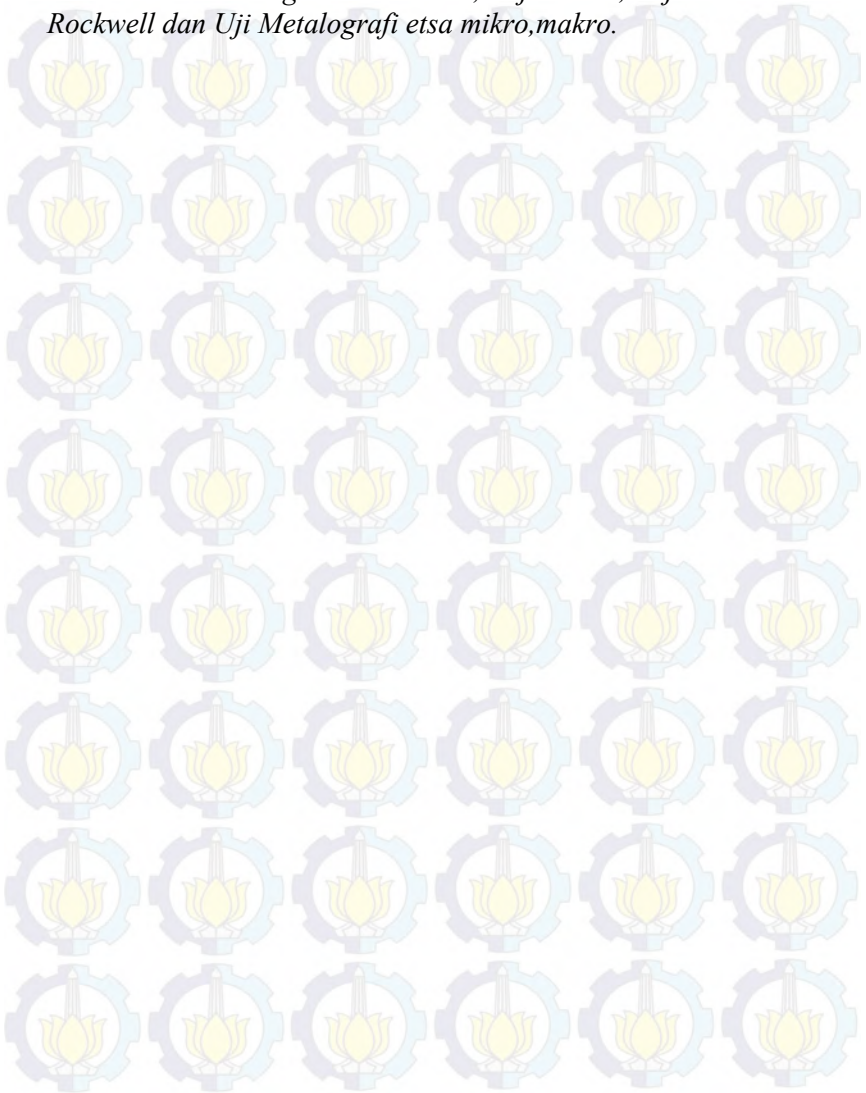
Teknologi dalam pengelasan semakin berkembang dengan pesat dimana untuk memperbaiki hasil pengelasan, yang bertujuan untuk mengurangi nilai perubahan bentuk / Distorsi akibat dari proses pengelasan. Material yang digunakan pada umumnya SA 36 yang memang diperuntukan untuk bejana tekan dan harus mempunyai nilai keamanan yang tinggi.

Penelitian ini akan membandingkan variasi arus listrik 90 dan 110 ampere menggunakan E 7016 berdiameter 2,6mm terhadap sifat mekanis dari material SA 36 dengan metode pengelesan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). Dalam penelitian ini dilakukan Pengujian Tarik untuk mengetahui daerah patahan. Pengujian Kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada titik pasti batas antara Base Metal, HAZ dan Weld Metal. dan Pengujian Metalography (Mikro dan Makro) untuk mengetahui lebar HAZ.

Hasil penelitian yang didapatkan pada pengujian tarik semua spesimen terjadi patah berada di daerah Base Metal, di sebabkan dari Multi Leyer dari proses pengelasan. Didapat nilai paling tinggi pada spesimen variasi arus listrik 90 ampere yaitu Regangan (ϵ) 18,31 %, Tegangan (σ) Yield 398,98 MPa, dan Tegangan (σ) Max 522,87 MPa. Pada pengujian kekerasan didapat nilai paling besar pada spesimen variasi arus listrik 110 ampere di daerah Weld Metal yaitu 88,33 HRB. Karena semakin rendah ampere, maka nilai kekerasan dari material akan turun dan nilai keuletannya meningkat. Pada pengujian metalography nilai lebar HAZ paling besar secara aktual pada spesimen variasi

arus listrik 110 ampere lebih besar yaitu 1,68 mm. Sedangkan secara teoritis yaitu 3,28 mm. Karena semakin besar masukan panas, maka laju pendinginan semakin lama.

Kata kunci : *Pengelasan SMAW, Uji Tarik, Uji Kekerasan Rockwell dan Uji Metalografi etsa mikro,makro.*



EFFECT OF VARIATION ELECTRIC CURRENT AMPERE 90 AND 110 ON MECHANICAL PROPERTIES ARE JOINED MATERIAL SA 36 SMAW WELDING METHOD

Name : Fahrudy Dwi Wicaksono
NRP : 2111 030 056
Major : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstract

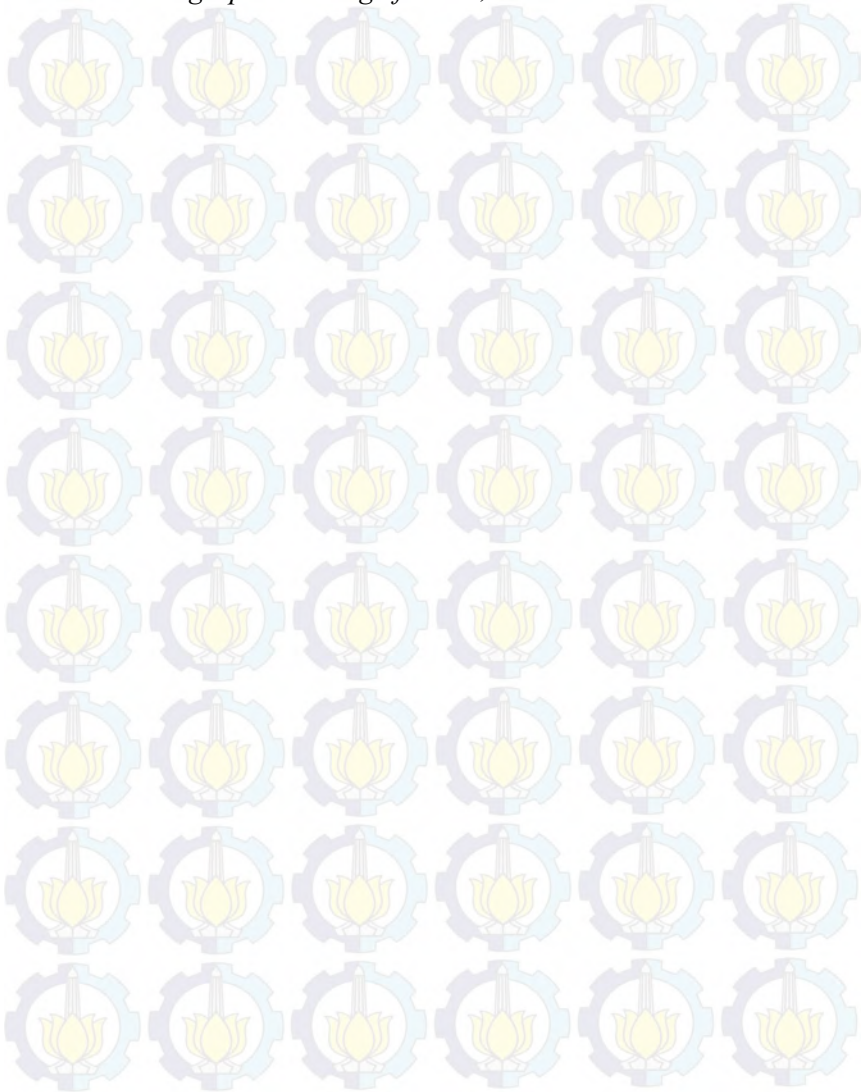
In welding technology is growing by leaps and bounds in which to improve the welding results, which aims to reduce the value of deformation / distortion as a result of the welding process. The material used is generally SA 36 that is intended for pressure vessels and must have a high security value.

This study will compare the variations of electric current 90 and 110 amperes using E 7016 2,6mm diameter of the mechanical properties of the material SA 36 with the method pengelesan SMAW (Shielded Metal Arc Welding). In this research, Tensile Tests to determine the fracture area. Hardness test to determine the value of hardness at the point definite boundary between Base Metal, HAZ and Weld Metal and Metalography Test (Micro and Macro) to determine the width of the HAZ.

Research results obtained in tensile testing of all specimens fractures are in the Base Metal, caused from a Multi Leyer of the welding process. Highest values obtained on specimens variations in electric current of 90 amperes, namely Strain (ϵ) 18.31%, stress (σ) Yield 398.98 MPa, and stress (σ) 522.87 MPa Max. In testing the hardness obtained the greatest value on the specimen 110 ampere electric current variation in the area of Weld Metal namely 88.33 HRB. Because the lower the amperage, then the hardness of the material will fall and the value of tenacity increases. On testing metalography HAZ width value most actual on the specimen 110 ampere electric current variation is greater that 1.68 mm. While theoretically that is 3.28

mm. Due to the greater input of heat, the cooling rate is getting old..

Key word : *SMAW welding, Tensile Test, Test Rockwell Hardness and Metallographic etching of micro, macro.*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin pesatnya kemajuan ilmu dan teknologi pada masa kini, dari berbagai jenis pengelasan yang telah dikenal, pengelasan pada konstruksi bangunan mempunyai suatu persyaratan dari Badan Klasifikasi yang mengawasi dan memberikan kelayakan tentang kekuatan konstruksi. Untuk memenuhi persyaratan yang dituntut badan klasifikasi, maka peran juru las sangatlah besar, dan untuk itu teknik-teknik pengelasan harus diikuti agar mendapatkan mutu las yang baik dan dapat diterima oleh badan klasifikasi.

Pada umumnya pengelasan pada konstruksi bangunan yang banyak digunakan adalah pengelasan dengan proses las *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* dari material baja karbon rendah dan baja kekuatan tarik tinggi. Oleh karena itu bahwa perancangan konstruksi bangunan dengan sambungan las harus direncanakan pula tentang teknik pengelasan, bahan las dan jenis las yang digunakan serta pemeriksaannya.

Salah satu permasalahan dalam pengelasan suatu material logam yaitu dari studi kasus sebuah konstruksi bangunan yang mengalami kebakaran. Variasi arus listrik yang digunakan pada saat proses pengelasan yang dilakukan, *heat input* dan pengaruh laju pendinginan.

Sehingga pada tugas akhir ini akan dilakukan analisa pada material SA 36 yang pada umumnya digunakan dalam konstruksi bangunan menggunakan metode pengelasan *SMAW (Shielded Metal Arc Welding)* dengan membedakan variasi arus listrik 90 dan 110 Ampere. Tujuan dari dilakukannya variasi arus listrik tersebut yaitu untuk mengetahui perbedaan sifat mekanik berupa kekerasan dan keuletan pada material, sehingga kita dapat mengetahui nilai Uji Tarik, Uji kekerasan, dan Uji Metalography yang terjadi pada daerah *Base Metal, Weld Metal, HAZ* setelah dilakukan pengelasan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka Tugas Akhir ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana nilai uji Tarik dari pengaruh variasi arus 90 Ampere dan 110 Ampere terhadap sambungan material pada kampuh V?
2. Bagaimana nilai uji kekerasan dari pengaruh variasi arus 90 Ampere dan 110 Ampere terhadap sambungan material?
3. Bagaimana pengaruh variasi pengelasan arus 90 Ampere dan 110 Ampere pada hasil lebar HAZ terhadap Makro dan Mikro Etsa ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui nilai tarik dari hasil pengelasan 90 Ampere dan 110 Ampere pada kampuh V.
2. Mengetahui nilai kekerasan dari Base Metal, Weld Metal dan HAZ dari variasi 90 Ampere dan 110 Ampere.
3. Mengetahui lebar HAZ dari variasi arus pengelasan 90 Amper dan 110 Amper.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Material awal yang digunakan dalam penelitian dianggap tidak ada cacat.
2. Variasi *ampere* yang dilakukan adalah 90 Ampere, 110 Ampere dan kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°
3. Menggunakan proses *SMAW (Shield Metal Arc Weld)* dengan posisi *IG* .
4. Material *SA 36* dengan dimensi 300x150 mm dan tebal 10 mm.
5. Elektrode yang digunakan adalah E 7016 dengan diameter 2.6 mm.
6. Pengujian yang dilakukan adalah *Tensile Test*, *Hardness Rockwell* dan *metalography (Makro, Mikro etsa)*.

Pengujian dilakukan pada bagian *Base Metal*, *Weld Metal*, dan *HAZ*.

7. Bentuk kampuh V.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memperkaya khasanah keilmuan teknik terutama dalam bidang pengujian logam, pengelasan, dan bahan teknik. Sehingga dapat meningkatkan pengetahuan baik untuk masyarakat umum maupun bagi juru las.
2. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh amper terhadap kekerasan dari material SA 36 di daerah base metal, weld metal, dan HAZ.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur
Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian destructive test berupa uji kekerasan, makro etsa, mikro etsa, dan uji tarik atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.
2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing
Dalam penulisan tugas akhir ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.
3. Observasi Data
Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.
4. Analisa Data
Menganalisa hasil pengujian kekerasan, struktur mikro dan makro, dan tarik yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan Base Metal setelah dilakukan pengelesan dengan variasi amper menggunakan buku-buku pedoman.

5. Membuat Kesimpulan

Setelah menyelesaikan laporan tugas akhir dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan tugas akhir ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu :

- **BAB I PENDAHULUAN**
Pada Bab I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- **BAB II DASAR TOERI**
Pada Bab II ini menjelaskan tentang teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.
- **BAB III METODOLOGI**
Pada Bab III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.
- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**
Pada Bab IV akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan yang diambil pada base metal, weld metal, dan HAZ dengan titik-titik yang berbeda.
- **BAB V KESIMPULAN**
Pada Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran konstruktif untuk penelitian selanjutnya.
- **DAFTAR PUSTAKA**
- **LAMPIRAN**

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pengelasan

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, dari definisi tersebut dapat dijabarkan bahwa pengelasan (*welding*) sendiri merupakan salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu. Dari penjabaran tersebut terdapat 4 kata kunci untuk menjelaskan maksud dari pengelasan yaitu mencairkan sebagian logam, logam pengisi, tekanan, dan sambungan kontinu.

Ruang lingkup pemakaian teknologi las dalam bidang konstruksi saat ini sangat luas penggunaannya, meliputi perkapalan, automotif, jembatan, gedung, sambungan pipa, boiler, tangki, dan lain sebagainya.

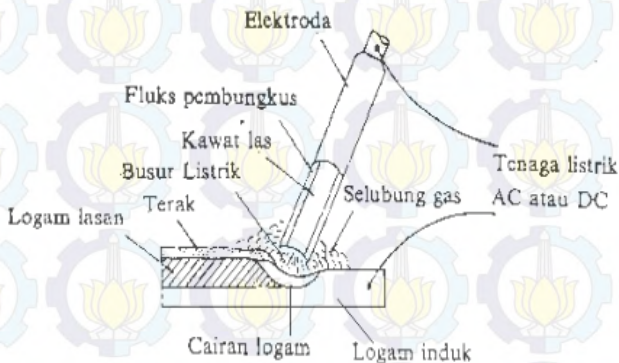
Selain bidang konstruksi, proses las juga dapat dipergunakan sebagai reparasi. Misalnya mengisi lubang-lubang yang terdapat pada hasil coran, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, membuat lapisan keras pada bagian perkakas, dan berbagai macam reparasi lainnya.

Mengelas bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa factor antara lain ; prosedur pengelasan, bahan, elektroda, dan jenis kampuh yang dipergunakan.

2.1.1 Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Pengelasan *SMAW* (*Shielded Metal Arc Welding*) umumnya disebut Las listrik yaitu proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* dengan benda kerja. Bagian

ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. *Filler* metal atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda. Gambar 2.1 memperlihatkan prinsip dasar proses SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).



Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

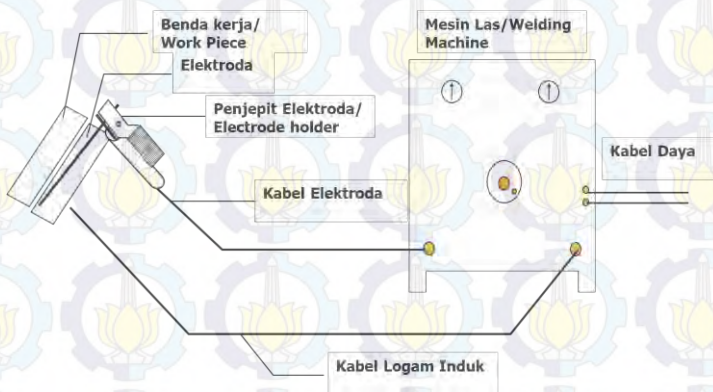
SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) umumnya digunakan pada pengelasan singkat dalam produksi, pemeliharaan dan perbaikan, dan untuk bidang konstruksi. Panas yang timbul dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4.000° sampai 4.500° Celcius. Sumber tegangan yang digunakan ada dua macam yaitu listrik bolak-balik atau AC (*Alternating Current*) dan listrik searah atau DC (*Direct Current*).

Proses terjadinya pengelasan karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar, sehingga terjadi hubungan pendek dan saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda, sehingga terbentuk busur listrik

yaitu lompatan ion yang menimbulkan panas. Panas akan mencairkan elektroda dan material dasar, sehingga cairan elektroda dan cairan material dasar akan menyatu membentuk logam lasan (*weld metal*). Untuk menghasilkan busur yang baik dan konstan tukang las harus menjaga jarak ujung elektroda dan permukaan material dasar tetap sama.

2.1.1.1 Proses Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan pekerjaan manual dengan peralatan meliputi power source, kabel elektroda (*electrode cable*), kabel kerja (*work cable*), electrode holder, work clamp, dan elektroda. Elektroda dan system kerja adalah bagian dari rangkain listrik. Rangkain dimulai dengan sumber daya listrik dan kabel termasuk pengelasan, pemegang elektroda, sambungan benda kerja, benda kerja (*weldment*), dan elektroda las. Salah satu dari dua kabel dari sumber listrik terpasang ke benda kerja, selebihnya melekat pada pemegang elektroda, seperti yang terlihat pada gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Perangkat Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)

Perlengkapan yang diperlukan untuk proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) adalah peralatan yang paling sederhana dibandingkan dengan proses pengelasan

listrik yang lainnya. Adapun perlengkapan las SMAW adalah transformator DC atau AC, elektroda, kabel massa, kabel elektroda, connectors, palu las, sikat kawat, dan alat perlindungan diri yang sesuai.

A. Sumber Tegangan DC atau AC

Sumber tegangan diklasifikasikan sebagai mesin las DC dan mesin las AC. Mesin las AC biasanya berupa trafo las, sedangkan mesin las DC selain trafo juga ada yang dilengkapi dengan rectifier atau diode (perubah arus boalk-balik menjadi arus searah) umumnya biasa menggunakan motor penggerak baik mesin diesel, motor bensin dan motor listrik.

Saat ini banyak digunakan mesin las DC, karena mempunyai beberapa kelebihan dari pada mesin las AC yaitu busur stabil dan polaritas dapat diatur. Mesin las AC menggunakan transformator atau trafo las yang berfungsi sebagai penurun tegangan dan meningkatkan arus listrik yang keluar. Seperti yang terlihat gambar 2.3 dan gambar 2.4 dibawah ini.



Gambar 2.3 Mesin Las DC

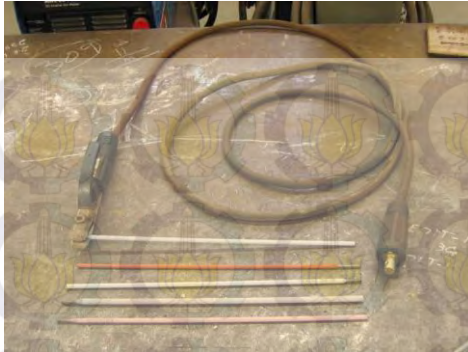


Gambar 2.4 Mesin Las AC

B. Kabel Masa dan Kabel Elektroda (*Ground Cable and Electrode Cable*)

Kabel masa dan kabel elektroda berfungsi menyalurkan aliran listrik dari mesin las ke material las dan kembali lagi ke mesin las. Ukuran kabel masa dan kabel elektroda ini harus cukup besar untuk mengalirkan arus listrik, apabila kurang besar akan menimbulkan panas pada kabel dan merusak isolasi kabel yang akhirnya membahayakan pengelasan.

Sesuai dengan peraturan, kabel di antara mesin tempat kerja sebaiknya sependek mungkin. Menggunakan satu kabel atau tanpa sambungan, jika jaraknya kurang dari 35 kaki. Jika memakai lebih dari satu kabel, sambungannya harus baik dengan menggunakan lock-type cable connectors. Sambungan kabel minimal 10 kaki menjauhi operator.



Gambar 2.5 Kabel elektroda



Gambar 2.6 Kabel masa

C. Pemegang Elektroda dan Klem Masa (*Holder and Claim Masa*)

Pemegang elektroda berguna untuk mengalirkan arus listrik dari kabel elektroda ke elektroda serta sebagai pegangan elektroda, sehingga tukang las tidak merasa panas pada saat mengelas.

Klem masa berguna untuk menghubungkan kabel masa dari mesin las dengan material biasanya klem masa mempunyai per untuk penjepitnya. Klem ini sangat penting, karena apabila klem longgar arus yang dihasilkan tidak stabil sehingga pengelasan tidak dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2.7 Pemegang Elektroda



Gambar 2.8 Klem masa

D. Palu Las dan Sikat Kawat (*Chipping Hammer and Wire Brush*)

Palu las digunakan untuk melepaskan dan mengeluarkan terak las pada logam las (*weld metal*) dengan cara memukulkan atau menggoreskan pada daerah lasan. Berhati-hatilah membersihkan terak las dengan palu las, karena kemungkinan akan memercik ke mata atau ke bagian badan lainnya. Jangan membersihkan terak las sewaktu terak las masih panas atau merah.

Sikat kawat dipergunakan untuk membersihkan benda kerja yang akan dilas dan juga dapat membersihkan terak las yang sudah lepas dari jalur las oleh pukulan palu las.



Gambar 2.9 Palu las



Gambar 2.10 Sikat kawat

2.1.2 Karakteristik Listrik (*electrical characteristic*)

Sumber arus listrik dinyatakan dalam arus AC (*Alternating Current*) atau arus DC (*Direct Current*). Jika DC polaritasnya juga harus ditentukan untuk menentukan sumber arus listrik apa dan polaritas yang mana yang dipakai perlu diperhatikan beberapa hal sebagai berikut.

Tabel 2.1 Arus DC (*Direct Current*)

Voltage Drop	Sensitive terhadap panjang kabel, kabel sependek mungkin.
Current	Dapat dipakai untuk arus kecil dengan diameter elektroda kecil.
Elektroda	Semua jenis elektroda dapat dipakai.
Arc starting	Lebih mudah, terutama untuk arus kecil.
Pole	Dapat dipertukarkan.




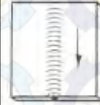

Arc bow	Sensitive terhadap bagian-bagian pada ujung-ujung, sudut-sudut atau bagian yang banyak leku-lekuknya.
---------	---

Table 2.2 Arus AC (*Alternating Current*)

Voltage Drop	Panjang kabel tidak banyak pengaruhnya.
Current	Kurang cocok untuk low current.
Elektroda	Tidak semua jenis elektroda dapat dipakai.
Arc starting	Lebih sulit terutama untuk diameter elektroda kecil.
Pole	Tidak dapat dipertukarkan.
Arc bow	Tidak merupakan masalah

2.1.3 Posisi Pada Pengelasan

Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan Posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

Posisi 1G	Posisi 2G	Posisi 3G	Posisi (v-d)G	Posisi 4G
				
Datar	Horizontal	Vertikal ke atas	Vertikal ke bawah	Atas kepala

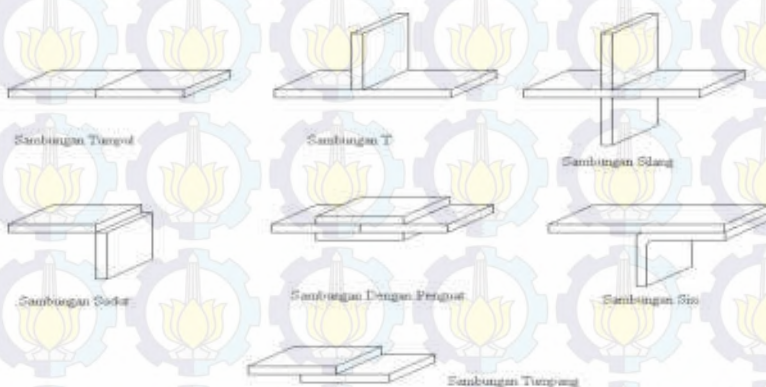
Gambar 2.11 Posisi Las

Keterangan posisi pengelasan : 1G = All position
 2G = Horizontal
 3G = Vertikal down
 4G = Over head

2.1.4 Klasifikasi Las Berdasarkan Sambungan dan Bentuk Alurnya

A. Sambungan Las Dasar

Sambungan las dasar pada konstruksi baja pada dasarnya dibagi menjadi sambungan tumpul, sambungan T, sambungan sudut dan sambungan tumpang. Sebagai perkembangan sambungan dasar di atas terjadi sambungan silang, sambungan dengan penguat dan sambungan sisi yang ditunjukkan pada gambar 2.12 di bawah ini yaitu Jenis-jenis sambungan las dasar terdiri dari Sambungan Tumpul, Sambungan T, Sambungan Silang, Sambungan Sekat, Sambungan dengan Penguat, Sambungan Siku, Sambungan Tertumpang.



Gambar 2.12 Jenis-Jenis Sambungan Las Dasar

B. Sambungan Tumpul

Sambungan tumpul adalah jenis sambungan las yang paling efisien, sambungan ini terbagi menjadi sambungan penetrasi penuh dan sambungan penetrasi sebagian. Sambungan penetrasi penuh terbagi lagi menjadi sambungan tanpa plat pembantu dan sambungan plat pembantu. Bentuk alur dalam sambungan tumpul sangat mempengaruhi efisiensi pekerjaan dan jaminan sambungan.

Jenis lasan	Lasan dengan alur		
	Lasan Penetrasi penuh tanpa pelat penahan	Lasan penetrasi penuh dengan pelat penahan	Lasan penetrasi sebagian
Persegi (I)			
V tunggal (V)			
Tirus tunggal (V)			
U tunggal (U)			
V ganda (K)			
Tirus ganda (K)			
U ganda (H) (DU)			
J tunggal (J)			
J ganda (DU)			

Gambar 2.13 Jenis Sambungan Las Tumpul

2.1.5 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak). Pada pengelasan busur listrik, sumber energy berasal dari listrik yang diubah menjadi energy panas. Energy panas ini sebenarnya hasil kalaborasi dari arus listrik pengelasan, tegangan (Voltase) listrik pengelasan, dan kecepatan pengelasan, menghasilkan energi panas yang dikenal dengan masukan panas (heat input). Kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energy panas pengelasan, karena proses pengelasan tidak diam ditempat, tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energy panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan las. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energy pengelasan yang sering disebut *heat input*.

Persamaan dari *heat input* hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut :

Masukan panas :
$$HI = \frac{E \times I}{V} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana: $HI = \text{masukan panas atau energi (J/mm)}$
 $I = \text{Arus (Ampere)}$
 $E = \text{Voltase (Volt)}$
 $V = \text{Jarak/Waktu (mm/s)}$

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Tabel 2.3 Karakteristik Hasil Pengelasan

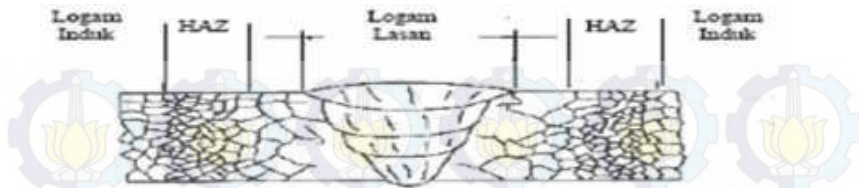
NO.	Variabel Operasi	Karakteristik Hasil Pengelasan			
		Suara Busur	Penetrasi	Burn Off Electrode	Bentuk Bead
A	Normal Ampere, Normal Volts, Kec. Normal	Percikan kecil Suara gemerak kuat	Baik, dalam dan galengan normal	Bentuk normal	Fusionnya sangat baik, tidak ada overlap
B	Ampere Rendah, Normal Volts, Kec. Normal	Percikan tidak beraturan, suara gemerak kecil	Dangkal	Tidak besar, beda dengan yang diatas.	Tonjolan tinggi
C	Ampere Tinggi, Normal Volts, Kec. Normal	Suaranya seperti ledakan, jarang beraturan	Dalam dan panjang	Coating tertinggal dan lebar serta panjang	Luas bead tidak lebar, Fusionnya baik
D	Normal Ampere, Kec. Normal, Volts rendah	Percikan kecil dan tenang	Kecil	Coating membentuk kawah dan porosity	Tonjolan tinggi dan lebih lebar dari No. B
E	Ampere Normal, Kec. Normal, Volts Tinggi	Suaranya halus	Lebar dan dangkal	Rata dan membentuk kawah	Lebar
F	Ampere Normal, Normal Volts, Kec. Rendah	Normal	Kawah Normal	Normal	Bead lebar
G	Ampere Normal, Normal Volts, Kec. Tinggi	Normal	Kecil dan dangkal	Normal	Bead kecil dan undercut

Sumber: Zamil, 1999.

2.1.6 Daerah Pengaruh Panas HAZ (Heat Affected Zone)

Pengelasan logam akan menghasilkan konfigurasi logam lasan dengan tiga daerah pengelasan yaitu pertama daerah logam induk merupakan daerah yang tidak mengalami perubahan mikrostruktur, kedua adalah daerah pengaruh panas atau disebut *heat affected zone* (HAZ) merupakan daerah terjadinya pencairan logam induk yang mengalami perubahan karena pengaruh panas saat pengelasan dan pendinginan setelah pengelasan, daerah ketiga adalah daerah las merupakan daerah terjadinya pencairan logam dan dengan cepat kemudian mengalami pembekuan.

Daerah pengaruh panas (HAZ) merupakan daerah yang paling kritis dari sambungan las, karena selain terjadi perubahan mikrostruktur juga terjadi perubahan sifat. Secara umum daerah pengaruh panas efektif dipengaruhi oleh lamanya pendinginan dan komposisi logam las maka susunan struktur logamnya semakin kasar. Secara skematis hubungan tinggi suhu atau semakin jauh dari logam cair las. Secara detail dapat dilihat pada gambar 2.14. Penampang lintang daerah HAZ di bawah ini :

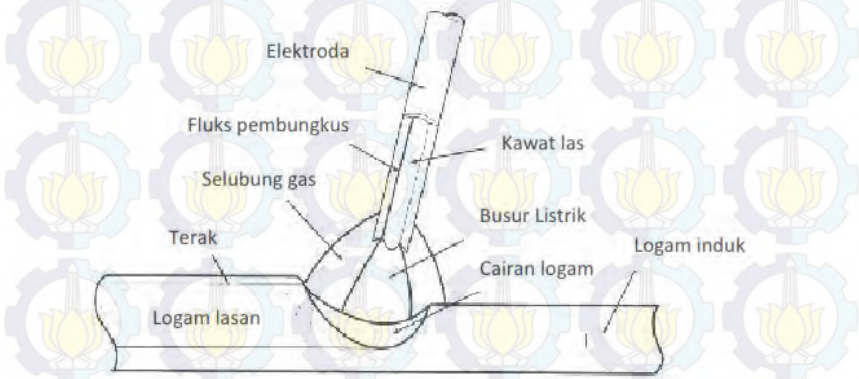


Gambar 2.14 Penampang lintang daerah HAZ

2.1.7 Elektroda (*Electrode*)

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).



Gambar 2.15 Elektroda Terbungkus

Adapun Kodefikasi dari elektroda sebagai berikut

Seperti : E XX X X

- E : Menyatakan elektroda busur listrik.
- XX : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam lb/in² dikalikan 1.000 psi.
- X : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.
- X : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

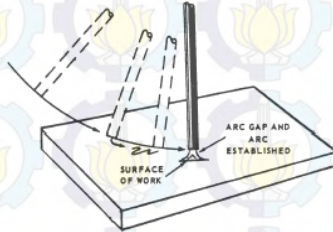
Sebagai contoh elektroda E 6013 mempunyai kuat tarik 60.000 psi (42 Kg/mm²). Sedangkan angka digit ketiga atau keempat bagi yang kuat tariknya lebih besar 100.000 psi (70 Kg/mm²). Digit selanjutnya menunjukkan posisi pengelasan, apabila angkanya 1 berarti untuk segala posisi pengelasan, angka 2 berarti las datar atau horinzontal 1 dan angka 3 menunjukkan untuk pengelasan datar saja. Digit yang terakhir menunjukkan jenis dari campuran kimia dari lapisan elektroda.

Table 2.4 Macam-macam jenis selaput (*fluks*)

Angka Keempat	Jenis Selaput (Fluks)	Arus Pengelasan
0	Natrium selulosa, Oksida besi tinggi	DC+
1	Kalium – Selulosa tinggi	AC,DC+
2	Natrium – Titania tinggi	AC,DC-
3	Kalium – Titania tinggi	AC,DC+
4	Serbuk besi, Titania	AC,DC±
5	Natrium – Hydrogrn rendah	DC+
6	Kalium – Hydrogen rendah	AC,DC+
7	Serbuk besi, Oksida besi	AC,DC+
8	Serbuk besi, Hydrogen rendah	AC,DC+

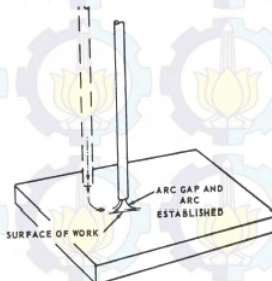
2.1.8 Penyalaan Busur

Ada dua metode dasar yang dipergunakan untuk melalui penyalaan busur yaitu metode menggores (*striking*) dan metode memukul (*tapping*). Penyalaan busur dimulai dengan adanya hubungan pendek antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja.



Gambar 2.16 Penyalaan busur dengan metode menggores (*striking*)

Pada metode menggores elektroda disentuhkan ke permukaan benda kerja dengan menggoreskan yang gerakannya mirip seperti penyalaan korek api. Begitu elektroda menyentuh permukaan kerja menghasilkan busur yang tidak stabil, oleh karena itu harus dijaga jarak antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja sama dengan diameter elektroda yang dipakai.



Gambar 2.17 Penyalaan busur dengan metode mengetuk (*tapping*)

Pada metode mengetuk elektroda di posisi vertical tegal lurus dengan permukaan benda kerja. Penyalaan busur dimulai dengan mengetuk atau melambungkannya di atas permukaan benda kerja, begitu elektroda menyentuh permukaan benda kerja menghasilkan busur yang tidak stabil, oleh karena itu harus dijaga jarak antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja sama dengan diameter elektroda yang dipakai.

Jika penarikan elektroda untuk membuat jarak antara elektroda dan benda kerja terlambat maka cairan logam akan cepat membeku sehingga elektroda lengket pada benda kerja. Apabila elektroda sulit dilepas dari benda kerja maka segera matikan mesin dan lepaskan elektroda dari benda kerja. Jangan pernah melepaskan helm atau topeng las selama ada kemungkinan elektroda bisa menghasilkan busur.

2.1.9 Parameter Pengelasan

Parameter pengelasan ada 4 macam yaitu : diameter elektroda, penggunaan amper, kecepatan pengelasan, dan ketebalan pelat.

A. Diameter Elektroda

Diameter elektroda yang dipakai dalam pengelasan SMAW sangat mempengaruhi besar kecilnya amper yang dipakai. Hal tersebut berhubungan dengan laju peleburan atau laju penimbunan (*fusion rate/deposition rate*) dan kedalaman penetrasi (*penetration*). Biasanya pada elektroda yang akan dipakai sudah direkomendasikan batasan besarnya amper, posisi pengelasan dan polaritas yang dipakai.

B. Penggunaan Amper

Penggunaan amper selama proses pengelasan sangat bergantung pada besar kecilnya diameter elektroda yang dipakai. Perusahaan pembuat elektroda sudah menetapkan besar kecilnya amper yang dipakai, informasi besarnya amper yang dipakai biasanya ditentukan pada bungkus elektroda.

Misalnya, amper yang dianjurkan untuk elektroda tertentu adalah 90-100 ampere, pada pelaksanaan latihan biasanya

akan menetapkan besarnya amper dipertengahan antara kedua batas tersebut, yaitu di 95 amper. Setelah mulai mengelas pengaturan amper kembali dilakukan sampai hasilnya baik.

Amper yang terlalu besar dapat mengakibatkan elektroda terlalu panas, dapat merusak kestabilan fluks. Lebar cairan las terlalu besar. Perlindungan cairan las tidak maksimal, dapat mengakibatkan logam lasan berpori (*porosity*). Besar kemungkinannya terjadi undercut. Terak (*slug*) sukar dibersihkan.

Amper yang terlalu kecil dapat mengakibatkan penyalan busur sulit dan lengket-lengket. Peleburan terputus-putus akibat dari busur yang tidak stabil. Peleburan base metal dan elektroda dan terjadi slag inclusion.

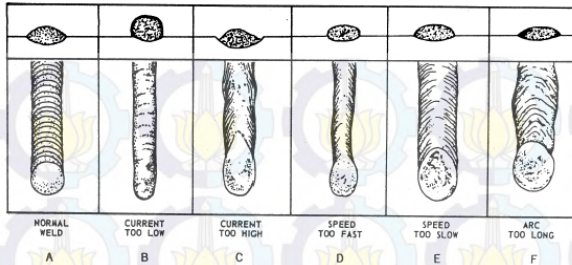
C. Kecepatan pengelasan (*welding speed*)

Kecepatan pengelasan adalah laju dari elektroda pada waktu proses pengelasan. Kecepatan maksimal mengelas sangat bergantung pada ketrampilan juru las (*welder*), posisi jenis elektroda dan bentuk sambungan.

Biasanya kalau kecepatan pengelasan terlalu cepat, logam lasan menjadi dingin terlalu cepat, menyebabkan bentuk deposit las menjadi kecil dengan puncak yang runcing. Sebaliknya, jika kecepatan perjalanan terlalu lambat, deposit las bertumpuk-tumpuk menjadi terlalu tinggi dan lebar. Kecepatan yang sesuai adalah bila menghasilkan deposit las baik, dengan tinggi maksimal sama dengan diameter elektroda dan lebar tiga kali diameter elektroda.

D. Ketebalan Pelat

Ketebalan pelat dapat mempengaruhi besar arus, bentuk alur sambungan, diameter elektroda, dan laju pendinginan.



Gambar 2.18 Bentuk-bentuk deposit las dan penyebabnya

2.2 Material SA 36

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA 36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.5 dan tabel 2.6.

Tabel 2.5 Nilai *Chemical Composition*

Product	Shapes ^a	Plates ^b				
Thickness, in. [mm]	All	To ¾ [20], Incl	Over ¾ to 1 ½ [20 to 40], Incl	Over 1 ½ to 2 ½ [40 to 65], Incl	Over 2 ½ to 4 [65 to 100], Incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Tabel 2.6 Sifat Mekanik SA 36

SA 36	
Tensile Strenght	
Yield Stress	Tensile Stress
250 (Mpa)	400-550 (Mpa)

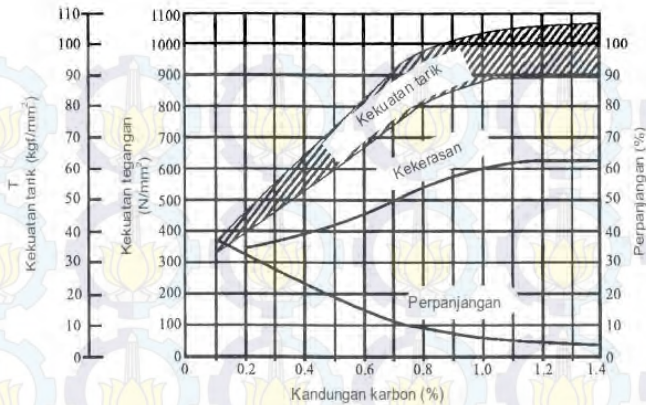
Tabel 2.7 Karakteristik dari 5 Elemen pada besi

Nama Elemen	Simbol	Karakteristik	Sifat Mampu Las
Karbon	C	Paling besar pengaruhnya pada sifat baja. Menambah kekuatan tarik, kekerasan dan kemampuan baja unjuk mengeras, tetapi mengurangi kemuluran.	Umumnya kandungan karbon 0,2% atau lebih rendah menjamin sifat mampu las yang lebih baik.
Silikon	Si	Baja dengan kandungan silicon tinggi sukar diroll. Sehingga kandungan silicon tidak boleh lebih dari 0,3%. Penambahan sekitar 0,3% silicon menaikkan sedikit kekuatan dan kekerasan.	Penambahan silicon 0,6% atau lebih rendah tidak mengganggu sifat mampu las.
Mangan	Mn	Menaikkan kekuatan dan kekerasan baja. Normalnya, baja mengandung 0,2% - 0,8% mangan.	Penambahan mangan menjamin sifat mampu las yang baik bila kandungannya tidak lebih dari 1,5%.
Fosfor	P	Untuk baja, fosfor adalah pengotor, membuat baja rapuh,	Karena penambahan fosfor mengganggu

		menyebabkan retak dingin.	sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%.
Belerang	S	Untuk baja, belerang adalah pengotor, membuat baja rapuh, menyebabkan retak panas.	Karena penambahan belerang mengganggu sifat mampu las, kandungannya tidak boleh lebih dari 0,04%. Kandungan belerang yang lebih tinggi juga menyebabkan pembentukan ikatan belerang yang menyebabkan baja retak.

2.2.1 Kandungan karbon

Sifat baja berubah sesuai dengan kondisi pembuatan baja dan metode perlakuan panas. Sifat mekanis dari baja besar perbedaannya sesuai dengan kandungan karbon. Umumnya dengan kandungan karbon yang lebih tinggi menaikkan tegangan tarik, titik mulur dan kekerasan tetapi menurunkan perpanjangan, sifat mampu pengerjaan dan sifat mampu las serta cenderung retak. Maka baja bila akan dilas harus mempunyai kandungan karbon rendah. Gambar 2.25 memperlihatkan hubungan antara kandungan karbon dengan sifat mekanis baja.



Gambar 2.19 Hubungan antara Kandungan Karbon dan Sifat Mekanis

Sehubungan dengan kandungan karbon, baja karbon diklasifikasikan menjadi baja karbon rendah, baja karbon sedang dan baja karbon tinggi, seperti diberikan pada table 2.9. Baja karbon juga dapat diklasifikasikan baja keras yang dapat dikeraskan dan baja lunak yang tidak dapat dikeraskan.

Table 2.8 Klasifikasi Baja Karbon

Jenis	Kandungan karbon	Penggunaan utama
Baja karbon rendah atau baja lunak	0,08% - 0,3%	Baja roll biasa atau plat baja, profil, pipa, gulungan.
Baja karbon sedang	0,31% - 0,59%	Baja untuk struktur mesin, poros, roda gigi, baut, mur.
Baja karbon tinggi atau baja keras	0,6% - 2,0%	Baja untuk rel kereta api, baja perkakas, baja pegas, baja alat ukur.

2.3 Sifat Mekanik Material

Sifat mekanik material adalah sifat yang menyatakan kemampuan suatu material atau komponen untuk menerima beban, gaya dan energy tanpa menimbulkan kerusakan pada material atau komponen tersebut. Beberapa sifat mekanik yang penting antara lain :

A. Kekuatan (*Strenght*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan material menjadi patah. Berdasarkan pada jenis beban yang bekerja, kekuatan dibagi dalam beberapa macam yaitu kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, dan kekuatan lengkung.

B. Kekakuan (*stiffness*)

Merupakan kemampuan suatu material untuk menerima tegangan atau beban tanpa mengakibatkan terjadinya deformasi atau difleksi.

C. Kekenyalan (*elasticity*)

Merupakan kemampuan material untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan atau dengan kata lain kemampuan material untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah mengalami perubahan bentuk (*deformasi*).

D. Plastisitas (*plasticity*)

Merupakan kemampuan material untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi palstis*) tanpa mengalami kerusakan. Material yang mempunyai plastisitas tinggi dikatakan sebagai material yang ulet (*ductile*), sedangkan material yang mempunyai plastisitas rendah dikatakan sebagai material yang getas (*brittle*).

E. Keuletan (*ductility*)

Merupakan kemampuan sifat material yang digambarkan seperti kabel dengan aplikasi kekuatan tarik. Material yang ulet (*ductile*) ini harus kuat dan lentur. Keuletan biasanya diukur dengan suatu periode tertentu, persentase keregangan. Sifat ini biasanya digunakan dalam bidang perteknikan, dan bahan yang memiliki sifat ini antara lain besi lunak, tembaga, aluminium, nikel, dll

F. Ketangguhan (*toughness*)

Merupakan kemampuan material untuk menyerap sejumlah energy tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan.

G. Kegetasan (*brittleness*)

Merupakan kemampuan sifat bahan yang mempunyai sifat berlawanan dengan keuletan. Kegetasan ini merupakan suatu sifat pecah dari suatu material dengan sedikit pergeseran permanent. Material yang getas atau rapuh ini juga menjadi sasaran pada beban regang, tanpa memberi keregangan yang terlalu besar. Contoh bahan yang memiliki sifat kerapuhan ini yaitu besi cor.

H. Kelelahan (*fatigue*)

Merupakan kemampuan kecenderungan dari logam untuk menjadi patah bila menerima beban bolak-balik (*dynamic load*) yang besarnya masih jauh di bawah batas kekakuan elastisnya.

I. Melar (*creep*)

Merupakan kemampuan kecenderungan suatu logam untuk mengalami perubahan bentuk secara permanen (*deformasi plastik*) bila pembebanan yang besarnya relative tetap dilakukan dalam waktu yang lama pada suhu yang tinggi.

J. Kekerasan (*hardness*)

Merupakan kemampuan ketahanan material terhadap penekanan atau indentasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan (*wear resistance*) yaitu ketahanan material terhadap penggoresan atau pengikisan.

2.4 Pengujian Bahan Material

Proses pengujian logam adalah proses pemeriksaan bahan-bahan untuk diketahui sifat dan karakteristiknya yang meliputi sifat mekanik, sifat fisik, bentuk struktur, dan komposisi unsur-unsur yang terdapat di dalamnya. Adapun proses pengujiannya dikelompokkan ke dalam tiga kelompok metode pengujian, yaitu :

1. DT (*Destructive Test*), yaitu adalah proses pengujian logam yang dapat menimbulkan kerusakan logam yang diuji.
2. NDT (*Non Destructive Test*), yaitu proses pengujian logam yang tidak dapat menimbulkan kerusakan logam atau benda yang diuji.
3. Metallography, yaitu proses pemeriksaan logam tentang komposisi kimianya, unsur-unsur yang terdapat di dalamnya, dan bentuk strukturnya.

Penjelasan mengenai pengujian logam akan dijelaskan lebih lanjut. Berikut ini merupakan penjelasan mengenai ketiga metode pengujian logam.

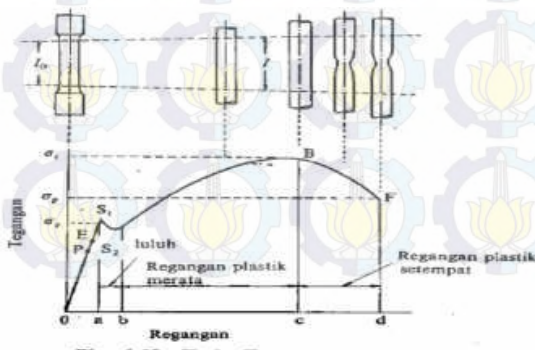
2.4.1 Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

Proses pengujian tarik bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik benda uji. Pengujian tarik untuk kekuatan tarik daerah las dimaksudkan untuk mengetahui apakah kekuatan las mempunyai nilai yang sama, lebih rendah atau lebih tinggi dari kelompok (*raw materials*). Pengujian tarik untuk kualitas kekuatan tarik dimaksudkan untuk mengetahui berapa nilai kekuatannya dan dimanakah letak putusnya suatu sambungan las. Pembebanan tarik adalah pembebanan yang diberikan pada benda

dengan memberikan gaya tarik berlawanan arah pada salah satu ujung benda. Penarikan gaya terhadap beban akan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*) bahan tersebut.

Untuk melakukan pengujian tarik dibutuhkan batang tarik. Batang tarik, dengan ukuran-ukuran yang dinormalisasikan, dibubut dari specimen yang akan diuji. Uji tarik merupakan salah satu dari beberapa pengujian yang umum digunakan untuk mengetahui sifat mekanik dari satu material. Dalam bentuk yang sederhana, uji tarik dilakukan dengan menjepit kedua specimen uji tarik pada rangka beban uji tarik. Gaya tarik terhadap specimen uji tarik diberikan oleh mesin uji tarik (*Universal Testing Machine*) yang menyebabkan terjadinya pemanjangan specimen uji dan sampai terjadi patah.

Hubungan antara tegangan dan regangan dapat dilihat dalam gambar 2.25. Titik P menunjukkan batas dimana hukum Hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi, dan titik E menunjukkan batas beban diturunkan ke nol lagi tidak akan terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat sebesar 0,005% sampai 0,01%. Titik S_1 disebut titik luluh atas dan titik S_2 titik luluh bawah. Pada beberapa logam batas luluh ini tidak kelihatan dalam diagram tegangan-regangan, dan dalam hal ini tegangan luluhnya ditentukan sebagai tegangan dengan regangan sebesar 0,2%.



Gambar 2.20 Kurva tegangan-regangan

Pada pengujian tarik beban diberikan secara *continue* dan pelan-pelan bertambah besar, bersamaan dengan itu dilakukan pengamatan mengenai perpanjangan yang dialami benda uji dan dihasilkan kurva tegangan-regangan. Tegangan dapat diperoleh dengan membagi beban dengan luas penampang mula benda uji.

$$\sigma_u = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana : σ_u = Tegangan tarik (kg/mm²)
 F_u = Beban maksimal (kg)
 A_o = Luas penampang mula dari penampang batang (mm²)

Regangan (persentase pertambahan panjang) yang diperoleh dengan membagi perpanjangan panjang ukur (ΔL) dengan panjang ukur mula-mula benda uji.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana : ϵ = Regangan (%)
 L = Panjang akhir (mm)
 L_0 = Panjang awal (mm)

Pembebanan tarik dilakukan terus-menerus dengan menambahkan beban sehingga akan mengakibatkan perubahan bentuk pada benda berupa pertambahan panjang dan pengecilan luas permukaan dan akan mengakibatkan kepatahan pada beban.

Uji tarik suatu material dapat dilakukan dengan menggunakan *universal testing machine* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.26. Benda uji dijepit pada mesin uji tarik, kemudian beban static dinaikkan secara bertahap sampai specimen putus. Besarnya beban dan pertambahan panjang dihubungkan langsung dengan *plotter*, sehingga diperoleh grafik tegangan (Mpa) dan regangan (%) yang memberikan informasi

data berupa tegangan *ultimate* (σ_{ult}), modulus elastisitas bahan(E), ketangguhan dan keuletan sambungan las yang diuji tarik.



Gambar 2.21 Mesin Uji Tarik

2.4.2 Detail Profil Uji Tarik dan Sifat Mekanik Logam

Sekarang akan kita bahas profil data dari tensile test secara lebih detail. Untuk keperluan kebanyakan analisa teknik, data yang didapatkan dari uji tarik dapat digeneralisasi.

A. Batas Elastis σ_e (*Elastic Limit*)

Dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam Gambar 2.27). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, hukum Hooke tidak lagi berlaku dan terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005% . Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

B. Batas Proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam

praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

C. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gambar 2.27 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

D. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

E. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

F. Regangan luluh ϵ_y (*yield strain*)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

G. Regangan elastis ϵ_e (*elastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

H. Regangan plastis ϵ_p (*plastic strain*)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

I. Regangan total (*total strain*)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban

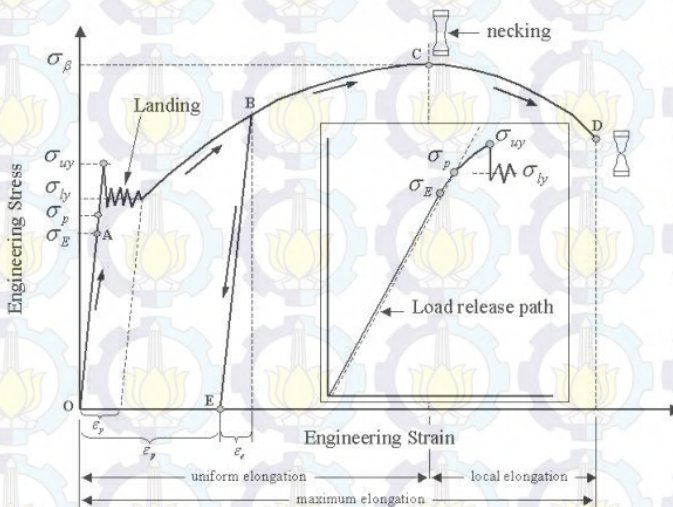
dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

J. Tegangan tarik maksimum TTM (*UTS, ultimate tensile strength*)

Ditunjukkan dengan titik C (σ_{β}), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

K. Kekuatan Patah (*Breaking Strength*)

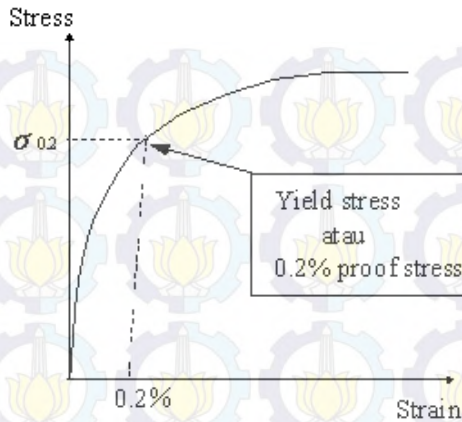
Ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.



Gambar 2.22 Contoh data hasil Uji Tarik

2.4.3 Tegangan Luluh Perubahan Elastis dan Plastis

Untuk hasil uji tarik yang tidak memiliki daerah linier dan landing yang jelas, tegangan luluh biasanya didefinisikan sebagai tegangan yang menghasilkan regangan permanen sebesar 0.2%, regangan ini disebut *offset-strain*.



Gambar 2.23 Kurva Tegangan Luluh

2.4.4 Istilah lain yang penting seputar interpretasi hasil uji tarik.

A. Kelenturan (*ductility*)

Merupakan sifat mekanik bahan yang menunjukkan derajat deformasi plastis yang terjadi sebelum suatu bahan putus atau gagal pada uji tarik. Bahan disebut lentur (*ductile*) bila regangan plastis yang terjadi sebelum putus lebih dari 5%, bila kurang dari itu suatu bahan disebut getas (*brittle*).

B. Derajat kelentingan (*resilience*)

Derajat kelentingan didefinisikan sebagai kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase perubahan elastis. Sering disebut dengan Modulus Kelentingan (*Modulus of Resilience*), dengan satuan *strain energy per unit volume* (Joule/m^3 atau Pa). Dalam Gambar 2.25, modulus kelentingan ditunjukkan oleh luas daerah yang diarsir.

C. Derajat ketangguhan (*toughness*)

Kapasitas suatu bahan menyerap energi dalam fase plastis sampai bahan tersebut putus. Sering disebut dengan Modulus

Ketangguhan (modulus of toughness). Dalam Gambar 2.26, modulus ketangguhan sama dengan luas daerah dibawah kurva OABCD.

D. Pengerasan regang (*strain hardening*)

Sifat kebanyakan logam yang ditandai dengan naiknya nilai tegangan berbanding regangan setelah memasuki fase plastis

E. Tegangan sejati, regangan sejati (*true stress, true strain*)

Dalam beberapa kasus definisi tegangan dan regangan seperti yang telah dibahas di atas tidak dapat dipakai. Untuk itu dipakai definisi tegangan dan regangan sejati, yaitu tegangan dan regangan berdasarkan luas penampang bahan secara *real time*.

Dilihat dari specimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 2.24 Bentuk Patahan

Syarat kelulusan pengujian Tarik yaitu :

1. Patahnya berada di HAZ atau Base Metal.
2. Patahnya berada di Weld Metal, asalkan nilai Tensile Pengujian Tarik tidak boleh kurang dari 95% (Tensile Base Metal).

2.4.5 Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap identasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan, metode *Rockwell*.

2.4.5.1 Dasar-Dasar Pengujian Kekerasan

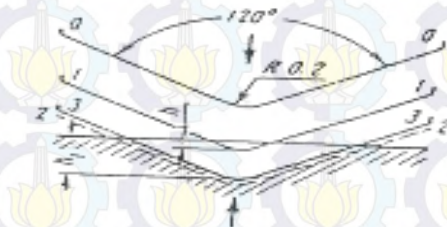
Pengujian kekerasan bahan logam bertujuan untuk mengetahui angka kekerasan logam tersebut. Dengan kata lain, pengujian kekerasan ini bukan untuk melihat apakah bahan itu keras atau tidak, melainkan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kekerasan pun diatur dan diakui oleh standar industri di dunia sebagai satuan yang baku. Satuan yang baku itu disepakati melalui tiga metode pengujian kekerasan, yaitu penekanan, goresan, dan dinamik.

Pengujian kekerasan dengan cara penekanan menentukan angka kekerasannya, yaitu menitik beratkan pada perhitungan kekuatan bahan terhadap setiap daya luas penampang bidang yang menerima pembebanan tersebut. Sedangkan metode *Rockwell* menitik beratkan pada pengukuran kedalaman hasil penekanan atau penekan (indenter) yang membentuk bekasnya (indentasi) pada benda uji. Perbedaan cara pengujian ini menghasilkan nilai satuannya masing-masing sesuai dengan proses penekannya, yang

mendapat pengakuan standar internasional. Perbedaan satuan itu ditunjukkan dalam bentuk tulisan angka hasil pengujiannya. Berikut ini merupakan uraian terperinci mengenai masing-masing metode pengujian.

2.4.5.2 Metode Pengujian Kekerasan

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendor, seperti tercantum pada tabel 2.1. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.25 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

- 0-0 Posisi sebelum indentasi
- 1-1 Penetrasi pada saat beban awal P_1
- 2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P_1+P)
- 3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P_1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell

terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 1100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

Pengujian kekerasan dengan metode *Rockwell* ini diatur berdasarkan standar DIN 50103. Adapun standar kekerasan metode pengujian *Rockwell* ditunjukkan pada table sebagai berikut :

Table 2.9 Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

Tingkat skala kekerasan menurut metode *Rockwell* dapat dikelompokkan menurut jenis indenter yang digunakan pada masing-masing skala. Dalam metode *Rockwell* ini terdapat dua macam indenter yang ukurannya bervariasi, yaitu :

1. Kerucut intan dengan besar sudut 120° dan disebut sebagai *Rockwell Cone*.
2. Bola baja dengan berbagai ukuran dan disebut sebagai *Rockwell Ball*.

Untuk cara pemakaian skala ini, kita terlebih dahulu menentukan dan memilih ketentuan angka kekerasan maksimum yang boleh digunakan oleh skala tertentu. Jika pada skala tertentu tidak tercapai angka kekerasan yang akurat, maka kita dapat menentukan skala lain yang dapat menunjukkan angka kekerasan yang jelas.

Pembebanan dalam dua proses pengujian kekerasan metode *Rockwell* diberikan dalam dua tahap. Tahap pertama disebut beban minor dan tahap kedua (beban utama) disebut beban mayor. Beban minor besarnya maksimal 10kg sedangkan beban mayor bergantung pada skala kekerasan yang digunakan.

2.4.6 Pengujian Metalografi (*Metalography Test*)

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography.

Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikro

skop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

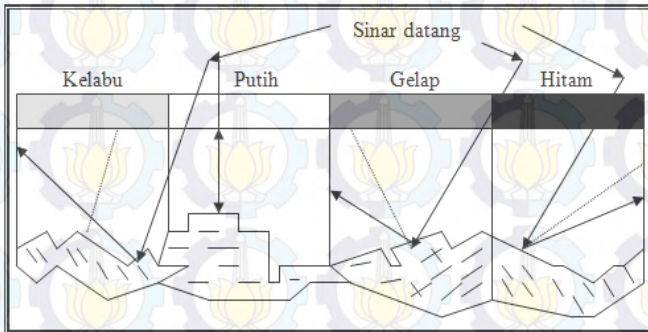
Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

A. Pengujian Makro

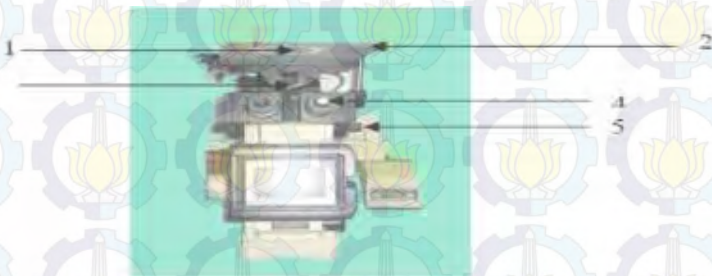
Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

B. Pengujian Mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



Gambar 2.26 Pantulan Sinar Pada *Metalograph Test*



Gambar 2.27 Alat Penguji Struktur Mikro

Keterangan Gambar :

1. Landasan specimen
2. Lengan pengatur kedudukan
3. Lensa pengatur perbesaran
4. Lensa untuk melihat
5. Tuas pengatur perbesaran

Lebar dari HAZ tergantung dari beberapa faktor salah satunya Heat Input dan temperatur awal pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat variasi Amper pengelasan. Amper pengelasan inilah yang mempengaruhi dari lebar HAZ.

Penjelasan diatas dapat dijelaskan pada rumus berikut ini:

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Didapat dari:

$$\frac{1}{A} = \frac{C Y}{H_{input}} + \frac{1}{B}$$

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{B} = \frac{C Y}{H_{input}}$$

$$C Y = \frac{H_{input}}{A - B}$$

Y = Lebar HAZ(2.4)

Keterangan:

$H_{\text{net}} = H_{\text{input}} \times f(\text{efisiensi perpindahan kalor})$

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

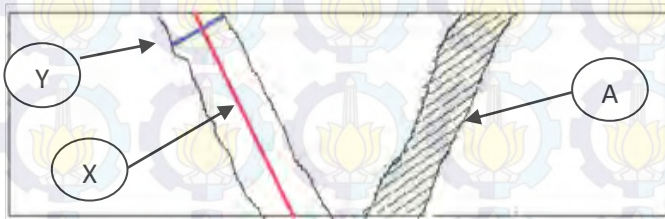
$\rho C = 0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = Tebal plat

y = Lebar HAZ

Dari rumus ini maka akan diketahui pengaruh dari suhu preheat terhadap lebar dari HAZ karena suhu awal (T_0) maka semakin besar suhu preheat maka lebar dari HAZ akan semakin Lebar. Namun dengan catatan variabel dari rumus sama pada seluruh variasi Preheat yang berudah hanya T_0 nya saja.

Maka dari data yang ditampilkan oleh tabel dapat diambil kesimpulan bahwa luas dari HAZ juga di pengaruhi oleh variasi amper dilakukan pemisalan yang akan dijelaskan pada gambar d bawah.



Gambar 2.28 Keterangan Garis

Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)

Y = Lebar rata-rata HAZ (garis biru)

Untuk mengetahui lebar dari HAZ, Luasan dari Haz harus dicari terlebih dahulu lalu dimasukan rumus jajar genjang sebagai acuan untuk menghitung dari lebar HAZ.



Gambar 2.29 Jajar Genjang

$$\text{Luas} = \text{Panjang} \times \text{Tinggi} \dots \dots \dots (2.5)$$

X = Panjang

Y = Tinggi

Maka ketika luas dari HAZ sudah diketahui, maka acuan dari panjang bidang harus diketahui untuk mencari lebar dari keseluruhan HAZ dalam satu bidang.

$$\text{Maka : } Y = \frac{\text{Luas}}{X} \dots \dots \dots (2.6)$$

Struktur mikro adalah gambar atau konfigurasi distribusi fase-fase, yang apabila diamati dengan menggunakan mikroskop optic akan dapat dipelajari antara lain:

- Type Fase

Mewakili nama khas pada logam tertentu misalnya pada besi dapat berupa ferrit, perlit, eutectoid dan sebagainya.

- Ukuran butiran

Mewakili dimensi dari fase dibandingkan dengan dimensi lainnya, misalnya ukuran grafit dan ukuran butiran.

- Distribusi

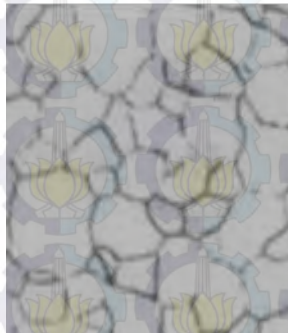
Mewakili daerah penyebaran masing-masing fase daiantara luasan yang menjadi pengamatan dalam sample tersebut.

- Orientasi.

Struktur mikro dari benda tuangan biasanya dendritik, dan pada benda tersebut terjadi coring (karena pendinginan tidak ekuilibrium). Hal ini akan memberikan sifat mekanik yang kurang baik bagi benda tersebut. Untuk itu perlu dilakukan suatu usaha untuk membuat struktur mikro menjadi lebih homogen, yaitu dengan homogenising.

Homogenising dilakukan dengan memanaskan kembali benda kerja sampai temperatur yang cukup tinggi di daerah austenit dan membiarkannya cukup lama disitu agar dapat terjadi difusi yang akan membuat struktur mikro menjadi lebih homogen. Setelah itu didinginkan dengan lambat. Karena temperatur pemanasan tadi cukup tinggi maka struktur mikro yang terjadi setelah pendinginan biasanya kasar. Untuk itu setelah homogenising biasanya masih diperlukan annealing untuk memperhalus butir kristalnya.

Berikut adalah macam-macam struktur mikro beserta penjelasannya :



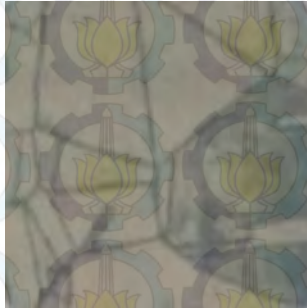
Gambar 2.30 Ferrit

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada temperatur 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi anil). Tensile Strength rendah. Keuletan tinggi. Kekerasan < 90 HRB. Struktur paling lunak pada Fe-Fe₃C.



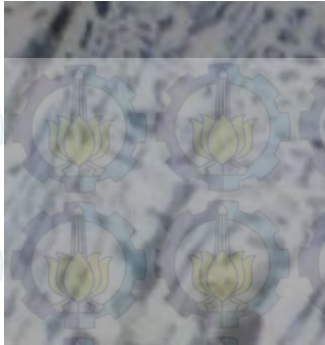
Gambar 2.31 Pearlite

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) pada temperatur 723°C dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8%. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak.



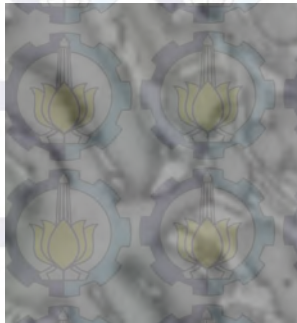
Gambar 2.32 Austenite

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon max 2% pada temperatur 1130°C. Berbentuk padatan seperti plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni). Tensile strength 1050 N/mm². Tangguh.



Gambar 2.33 Ledeburite

Ledeburite yaitu suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) dengan kadar karbon 4,3% pada temperatur 1130°C . Berbentuk berbutir-butir. Berwarna putih dengan bintik-bintik hitam. Sifat mekanis keras.



Gambar 2.34 Cementite

Cementite yaitu karbida besi Fe_3C merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Tensile Strength rendah. Kekerasan tinggi. Struktur paling keras pada diagram $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$.



Gambar 2.35 Bainite

Bainite yaitu aciculer mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar $250-550^{\circ}\text{C}$ dengan kadar karbon $<0,5\%$. Berbentuk jarum-jarum aciculer yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas.



Gambar 2.36 Martensite

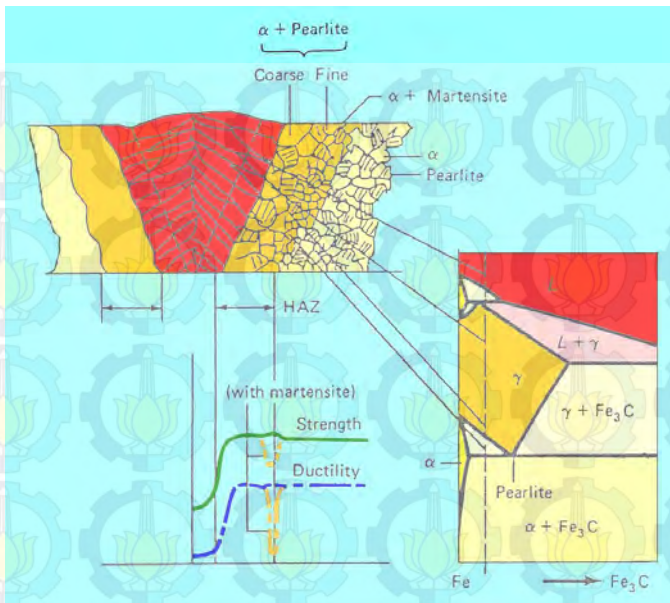
Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon $>0,5\%$. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras.

2.4.6.1 Struktur Mikro dan Makro pada Base Metal, HAZ (Heat Affected Zone) dan Weld Metal

Perubahan metalurgi yang terjadi di las dan HAZ signifikan mempengaruhi kualitas las. Berbagai macam perubahan yang mungkin terjadi tergantung pada berbagai faktor, misalnya ;

- (a) Sifat material (yaitu fase tunggal, dua-fase)
- (b) Sifat heat treatment sebelumnya
- (c) Sifat cold working sebelumnya.

Kami sekarang mempertimbangkan contoh khas perubahan ini. Mari kita mempertimbangkan las fusi dua potong bahan fase tunggal, yang telah cold working untuk menghasilkan orientasi yang diinginkan. Butiran cold working menghasilkan kekuatan tinggi dan keuletan rendah. Namun, pada gabungan pengelasan, pertumbuhan butiran bercampur lagi terjadi di daerah batas meleleh, yang pada akhirnya menghasilkan kekuatan rendah. Daerah *HAZ* yang terkena panas, butiran menjadi kasar karena heat input (annealing), dan juga terjadi rekristalisasi parsial. Dalam kedua kasus, kekuatan rendah jauh di bawah dari bahan induk. Dengan meningkatnya jarak dari batas meleleh, butiran menjadi lebih halus sampai daerah panas *HAZ* terpengaruh dengan mencapainya butiran yang memanjang. Semua perubahan ini ditunjukkan pada gambar. 2.37. Karakteristik sambungan las pada logam murni.



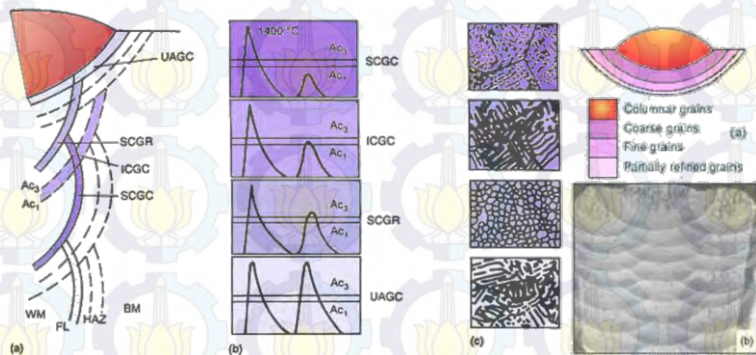
Gambar 2.37 Karakteristik sambungan las pada logam murni $\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$.

Mari kita mempertimbangkan bahan dua fase yang berasal kekuatannya sebagian besar dari pengerasan presipitasi. Dalam hal ini, kekuatan dalam batas mencair lagi terlalu rendah. Tapi diberbatasan langsung terkena daerah panas *HAZ*, hasil siklus termal pemanasan dan pendinginan diikuti oleh proses penuaan lebih lanjut. Proses penuaan ini memulihkan beberapa kekuatan. Bahan terluar dari daerah ini terlalu banyak karena panas pengelasan dan menjadi lebih sulit dengan hilangnya kekuatan. Oleh karena itu, kekuatan dan keuletan dekat sambungan yang seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Dua contoh kami telah dianggap secara jelas menunjukkan bahwa berbagai jenis perubahan metalurgi yang mungkin selama proses pengelasan, terutama untuk paduan kompleks. Perubahan ini diatur oleh metalurgi non-ekuilibrium dari paduan tersebut harus dipahami dengan jelas untuk menghasilkan perpaduan pengelasan yang memuaskan. Juga, keputusan ini sebelum dipanaskan proses

pemanasan yang diberikan, yang harus diambil untuk mengembalikan karakteristik yang diinginkan dari sambungan.

2.4.6.2 Multilayer

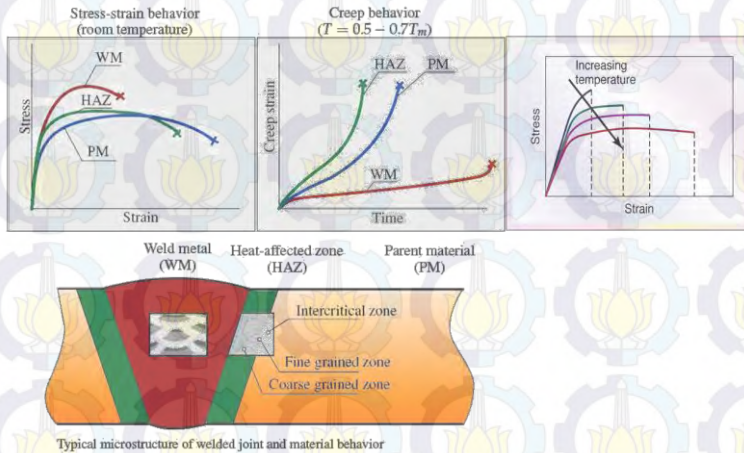
Pengelasan *multilayer* merupakan pengelasan berulang yang dilakukan pada suatu material yang memiliki ketebalan tertentu sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengelasan satu layer. Adanya pengelasan *multilayer* yang dilakukan pada setiap sambungan memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan *multilayer* yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Semakin banyak *layer* maka laju pendinginan semakin lambat. Karena laju pendinginan lambat, pembentukan tegangan sisa dan fasa-fasa getas sangat minim. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas maka, kekuatan tarik sambungan akan semakin tinggi dan nilai kekerasan akan menurun karena material bersifat *ductile*.



Gambar 2.38 Typical Heat Cycles 5 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer

Pengelasan pelat datar sering menggunakan *single layer* dan *multi layer*. Pengelasan *single layer* sering digunakan untuk pelat tipis. Dan pengelasan *multi layer* digunakan untuk pelat yang tebal. Pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi. Pada

pengelasan *multilayer*, *layer* kedua akan memberikan efek *postheat* pada *layer* sebelumnya dan *preheat* bagi *layer* sesudahnya. Pengelasan *multi layer* juga akan memberikan efek tempering pada daerah HAZ, akibat panas dari *layer* berikutnya. Efek *preheat* dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las.

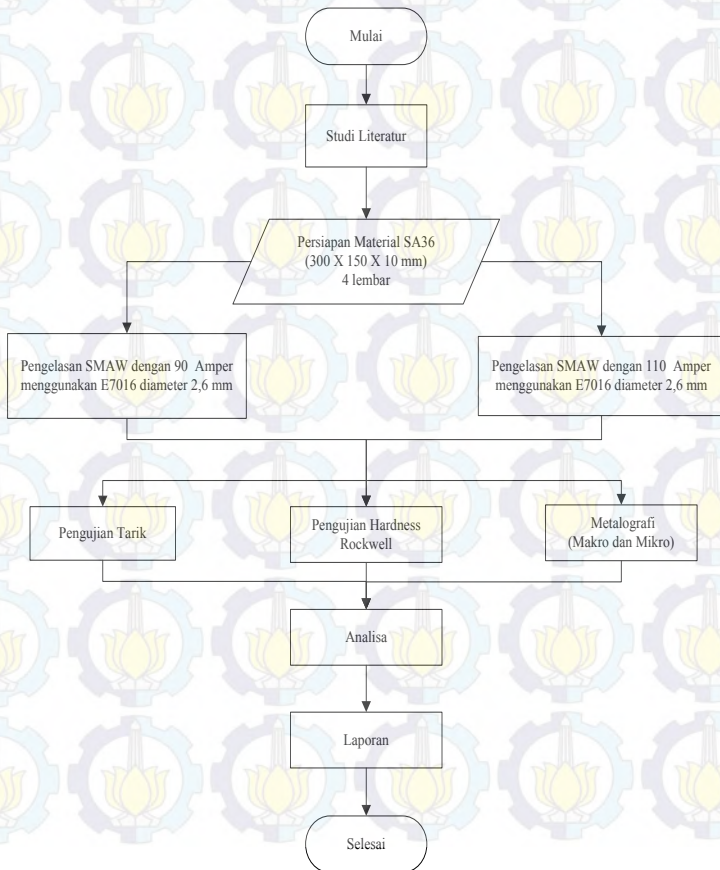


Gambar 2.39 Typical Heat Cycles 6 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Diagram

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester ganjil tahun ajaran 2014/2015 yaitu pada bulan September sampai dengan Februari 2015.

3.3 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di lab uji bahan dan bengkel pengelasan d3 Teknik Mesin FTI-ITS

3.4 Langkah Kerja

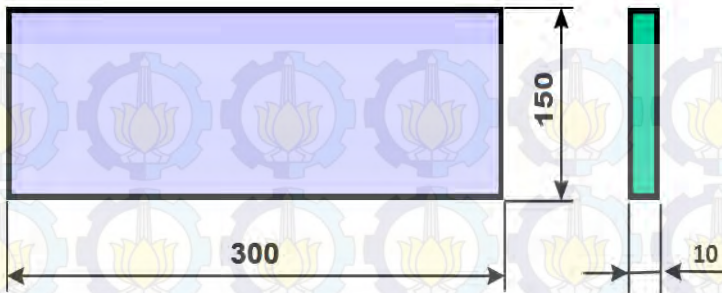
Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang konstruksi kapal yaitu Penyambungan plat dengan membedakan variasi arus amper, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

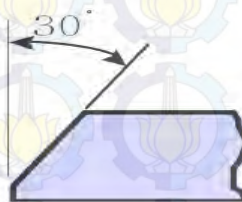
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan material

Material yang digunakan adalah *SA 36* dengan dimensi 300 mm x 150 mm dan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut 60^0 seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Dimensi Material.



Gambar 3.3 Sudut Bevel Yang Digunakan



Gambar 3.4 Material Dengan Kampuh 30°

3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan *SMAW* (*DC+*, *DC-*) posisi 1G dalam penelitian kali ini terdapat 2 variasi arus amper dalam penyambungan plat yang berbeda yaitu

A. Arus 90 Ampere

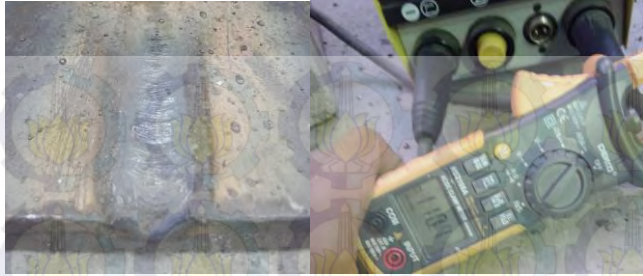
Pengelasan dilakukan dengan menggunakan arus listrik 90 Ampere menggunakan las *SMAW* arus *DC* dengan elektroda E 7016 sebagai tembusan (*fill cover*) dan sebagai pengisi (*root*) pengelasan. Elektroda berdiameter 2,6 mm. Setiap laju pengelasan pertama harus dibersihkan dari kotoran atau terak las, dan seterusnya untuk laju pengelasan berikutnya sampai selesai.



Gambar 3.5 Hasil Las dengan menggunakan 90 Ampere

B. Arus 110 Ampere

Pengelasan dilakukan dengan menggunakan arus listrik 110 Ampere menggunakan las *SMAW* arus *DC* dengan elektroda E 7016 sebagai tembusan (*fill cover*) dan sebagai pengisi (*root*) pengelasan. Elektroda berdiameter 2,6 mm. Setiap laju pengelasan pertama harus dibersihkan dari kotoran atau terak las, dan seterusnya untuk laju pengelasan berikutnya sampai selesai.

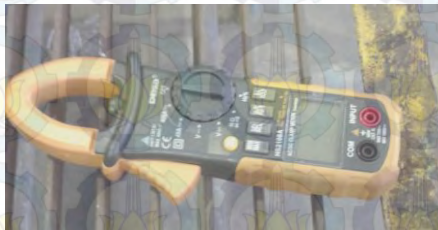


Gambar 3.6 Hasil Las dengan menggunakan 110 Amper

Proses pengelasan dilakukan setelah dilukanya pembuatan groove pada masing-masing plat berikut ini proses pengelasan yang dilakukan:



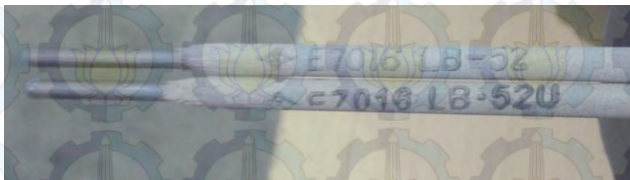
Gambar 3.7 Proses Pengelasan



Gambar 3.8 Tank Ampere



Gambar 3.9 Pemanas Filler



Gambar 3.10 Filler Las E7016 sebagai Tembusan dan Isian

3.4.4 Persiapan benda uji

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji, namun sampling harus sebagian besar sesuai dengan standart (AWS D1.1).

Dalam melakukan tes untuk mensimulasikan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaanya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

3.4.5 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Hardness*), Tarik, dan *Metalography*(*Mikro dan Makro Etsa*)

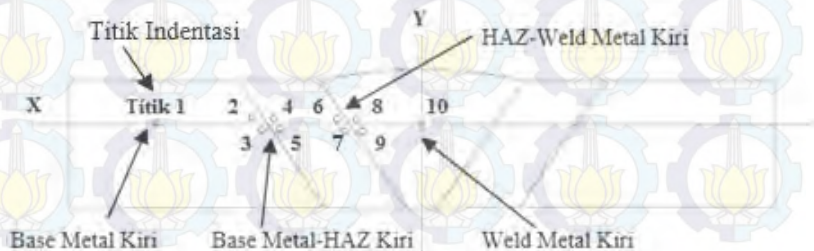
A. Pengujian Kekerasan.

Dalam pengujian kekerasan, jumlah spesimen yang diuji adalah 4 spesimen yaitu 90 Amper dan 110 Amper. 2 spesimennya di uji 3 bidang. Masing masing spesimen diambil 10 titik yaitu, 4 *Weld Metal* ke *HAZ*, 4 *HAZ* ke *Base Metal*, 1 *Weld Metal* dan 1 *Base Metal*. Total 60 titik uji kekerasan pada spesimen 90 Amper dan 110 Amper.



Gambar 3.11 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk	: AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading	: Maximum 100 KP Minimum 10 KP
Hrb Load	: 100 KP
Indentor	: Bola Baja 1/16



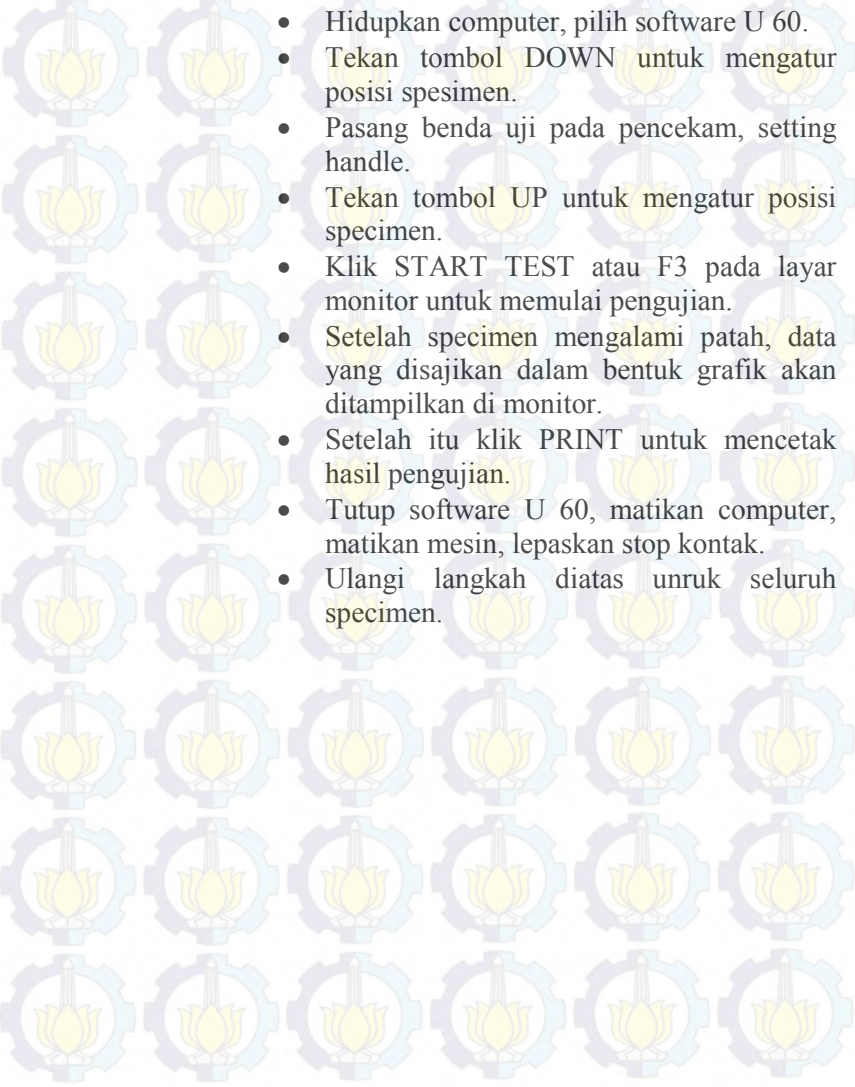
Gambar 3.12 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan

Untuk pengujian tarik dilakukan pengambilan spesimen total 6 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 3 spesimen yaitu sambungan pengelasan dengan arus 90 Amper dan 110 Amper. Untuk dimensi spesimen disesuaikan dengan *ASME Section 9* untuk pengujian tarik.



1) Menyiapkan specimen

- 60

- 
- Tekan power ON pada mesin pengujian tarik.
 - Hidupkan computer, pilih software U 60.
 - Tekan tombol DOWN untuk mengatur posisi spesimen.
 - Pasang benda uji pada pencekam, setting handle.
 - Tekan tombol UP untuk mengatur posisi specimen.
 - Klik START TEST atau F3 pada layar monitor untuk memulai pengujian.
 - Setelah specimen mengalami patah, data yang disajikan dalam bentuk grafik akan ditampilkan di monitor.
 - Setelah itu klik PRINT untuk mencetak hasil pengujian.
 - Tutup software U 60, matikan computer, matikan mesin, lepaskan stop kontak.
 - Ulangi langkah diatas unruk seluruh specimen.

Berikut specimen bahan pengujian Tarik :



Gambar 3.14 Spesimen pengujian tarik pada plat yang di sambung dengan menggunakan 90 Amper



Gambar 3.15 Spesimen pengujian tarik pada plat yang di sambung dengan menggunakan 110 Amper

C. Pengujian Metalography

Untuk proses Metalography test dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan Mikro tes, namun pada penelitian ini hanya proses makro test saja.

- Makro test

Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan Alkohol 95%+HNO₃., maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base metal akan terlihat.

- Mikro test

Bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik material dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan melalui kaca pembesar lensa mikroskop. Sehingga dari permukaan bahan logam yang sangat halus dan bersih akan terlihat bentuk Kristal molekul-molekulnya.

Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan benda uji (*Test Piece*) Makro dan Mikro:



Gambar 3.16 Proses etsa setelah di haluskan dengan kertas gosok



Gambar 3.17 Larutan Etsa (Alkohol 95%)



Gambar 3.18 Larutan Etsa (HNO_3)



Gambar 3.19 Kertas Gosok ukuran 80,150,500 dan 1000

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Pengelasan Spesimen

Data hasil pengelasan material SA 36 dengan *single V groove* 30° menggunakan elektroda E 7016 dari hasil pengelasan yang dilakukan, didapatkan data serta parameter dan catatan waktu pengelasan yang ditunjukkan pada tabel 4.1 sampai 4.4

Tabel 4.1 Logam Induk dan Pengisi E 7016

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7016
Filler metal Diameter	2,6 mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 4.2 Parameter Pengelasan arus listrik 90 Ampere

Proses	SMAW
Layer number/pass	1-5
Travel speed	1.5 mm/s
Amperage	90 Ampere
Voltage	26 Volt
Electrode diameter	2.6 mm
Heat Input	1560 J/mm

Tabel 4.3 Parameter Pengelasan arus listrik 110 Ampere

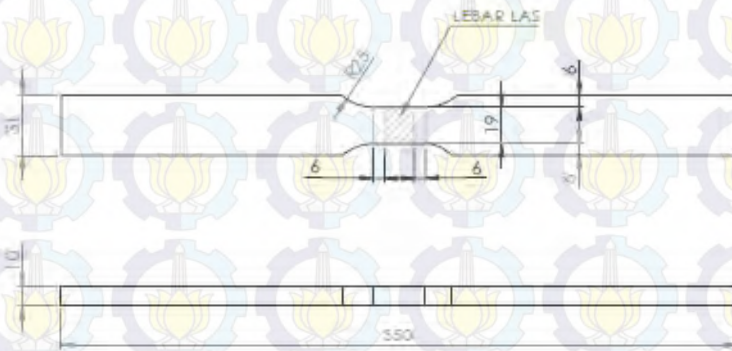
Proses	SMAW
Layer number/pass	1-5
Travel speed	1.3 mm/s
Amperage	110 Ampere
Voltage	26 Volt
Electrode diameter	2.6 mm
Heat Input	2200 J/mm

Tabel 4.4 Heat Input

Type Electroda	Arus (I)	Voltase (E)	Travel speed (V)	Masukan panas (HI)
E 7016 diameter 2.6mm	90 Ampere	26 Volt	1.5 mm/s	1560 J/mm
E 7016 diameter 2.6mm	110 Ampere	26 Volt	1.3 mm/s	2200 J/mm

4.2 Uji Tarik (*Tensile Test*)

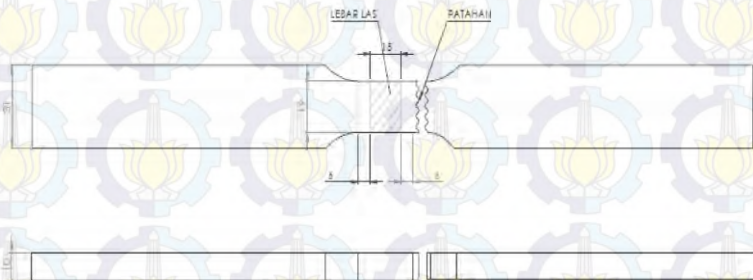
Pada pengujian tarik terdapat 3 spesimen untuk hasil las dengan menggunakan 90 Amper dan 3 spesimen hasil las dengan menggunakan 110 Amper. Total specimen uji tarik 6 spesimen. Berikut hasil data pengujiannya :



Gambar 4.1 Lokasi indentasi Uji Tarik



Gambar 4.2 Lokasi indentasi pada benda yang sebenarnya di las dengan arus listrik 90 Amper dan 110 Amper



Gambar 4.3 Lokasi indentasi hasil patah Uji Tarik

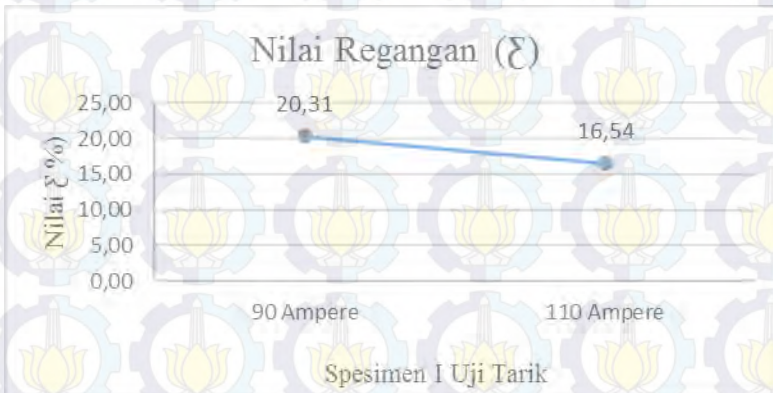


Gambar 4.4 Lokasi indentasi hasil patah pada benda yang sebenarnya di las dengan arus listrik 90 Amper dan 110 Amper

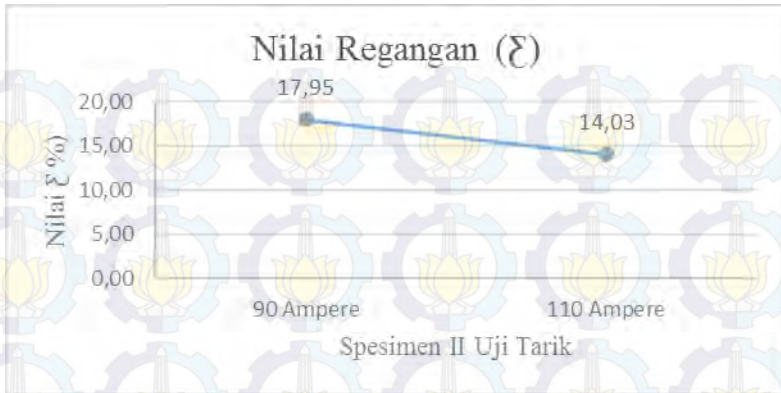
Tabel 4.5 Data Hasil Uji Tarik

Parameter (Unit)	Nilai Data Uji Tarik					
	90 Ampere			110 Ampere		
	I	II	III	I	II	III
Regangan (ϵ)	20,31 %	17,95 %	16,66 %	16,54 %	14,03 %	15,46 %
Tegangan (σ) Yield	399.94 Mpa	407.02 Mpa	389.97 Mpa	370.01 Mpa	401.23 Mpa	387.85 Mpa
Tegangan (σ) Max	517.05 Mpa	526.13 Mpa	525.42 Mpa	516.75 Mpa	520.45 Mpa	517.05 Mpa
Yield Force	63.94 kN	73.54 kN	70.02 kN	67.63 kN	64.00 kN	62.05 kN
Max Force	82.67 kN	95.07 kN	94.34 kN	94.45 kN	83.01 kN	82.72 kN

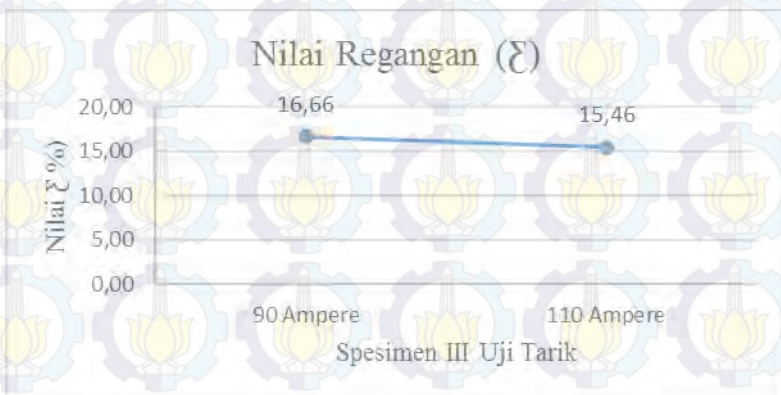
Dari Tabel di atas dapat dibedakan menjadi grafik Uji Tarik 90 Ampere untuk 3 spesimen dan grafik Uji Tarik 110 Ampere untuk 3 spesimen. Total 6 spesimen. Berdasarkan Regangan ϵ (%), Tensile σ Max (MPa), dan Tensile σ Yield (Mpa).



Gambar 4.5 Grafik Nilai Regangan (ϵ) spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



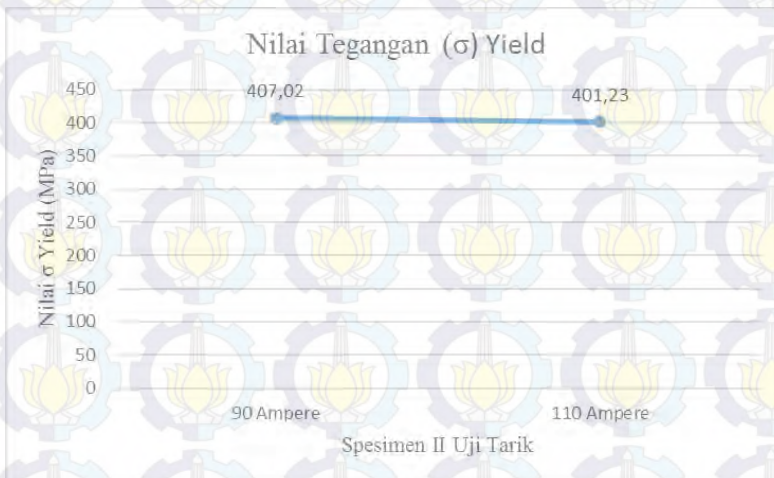
Gambar 4.6 Grafik Nilai Regangan (ϵ) spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Amper



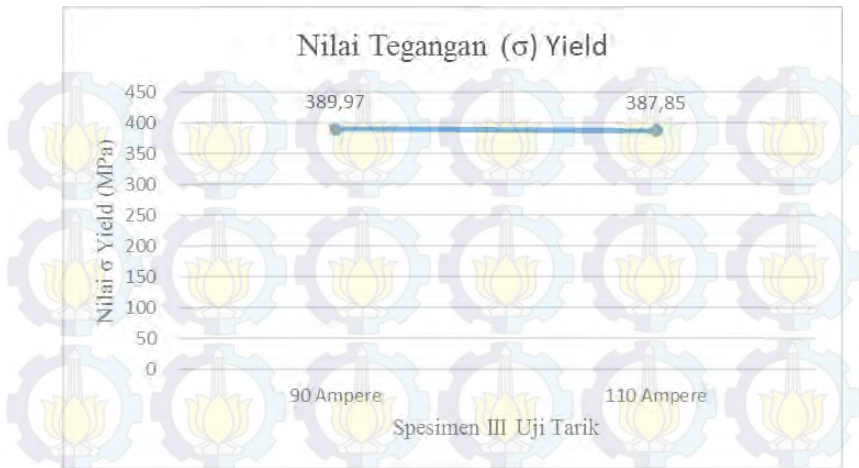
Gambar 4.7 Grafik Nilai Regangan (ϵ) spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Amper



Gambar 4.8 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



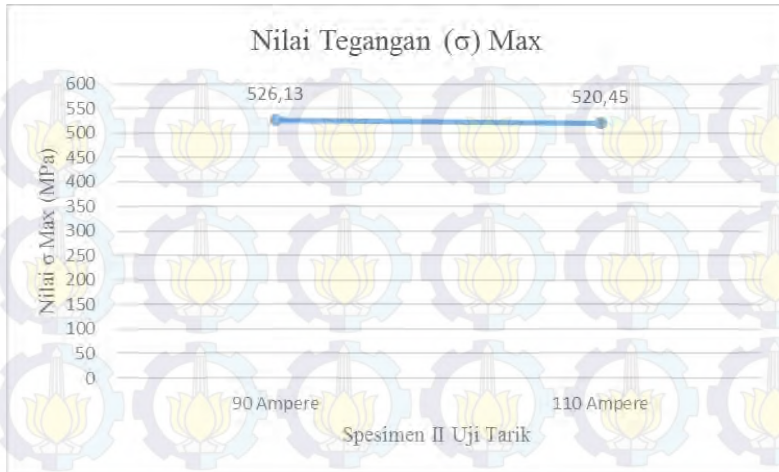
Gambar 4.9 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



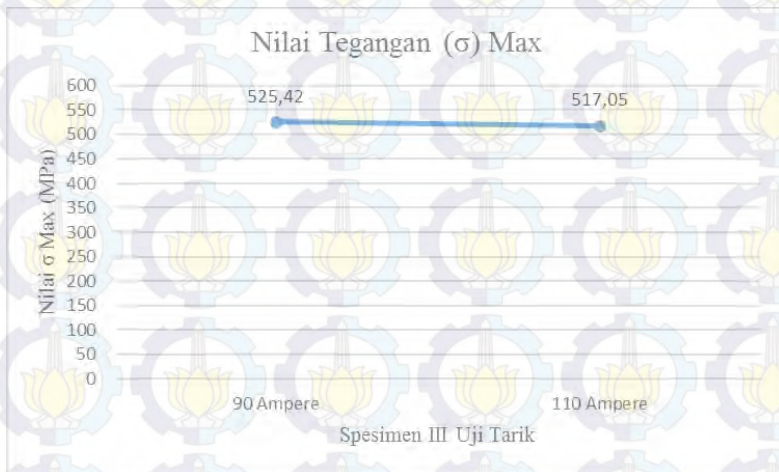
Gambar 4.10 Grafik Nilai Tegangan (σ) Yield spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



Gambar 4.11 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen I pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



Gambar 4.12 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen II pada arus listrik 90 dan 110 Ampere



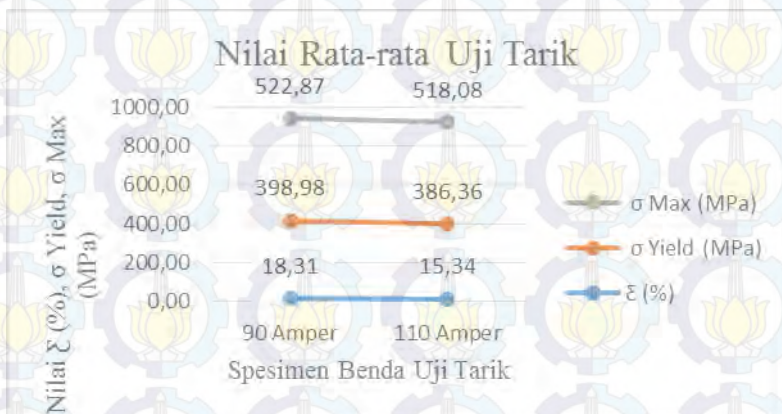
Gambar 4.13 Grafik Nilai Tegangan (σ) Max spesimen III pada arus listrik 90 dan 110 Ampere

Dapat dikatakan bahwa pada 90 Ampere spesimen II uji tarik nilai Tensile σ Max (526,13 MPa) paling tinggi, Tensile σ Yield (407,02 Mpa) pada spesimen II. Maka nilai Regangan ϵ

(20,31%) tertinggi pada specimen I. Pada 110 Amper specimen II uji Tarik nilai Tensile σ Max (520,45 MPa) paling tinggi. Maka nilai Regangan ϵ (16,54%) tertinggi pada spesimen I. Tensile σ Yield (401,23 Mpa) pada spesimen II

Tabel 4.6 Hasil Rata-Rata Uji Tarik

Nilai Rata-Rata Uji Tarik		
Parameter (Unit)	90 Amper	110 Amper
Regangan (ϵ)	18,31 %	15,34 %
Tegangan (σ) Yield	398.98 MPa	896.36 MPa
Tegangan (σ) Max	522.87 MPa	518.08 MPa



Gambar 4.14 Grafik nilai Rata-rata Uji Tarik

Dari proses pengujian tarik didapatkan hasil rata-rata dari Regangan ϵ , Tensile σ Yield, dan Tensile σ Max pada spesimen 90 Amper dan 110 Amper. Bahwa pada spesimen 90 Amper memiliki nilai tertinggi pada Regangan ϵ (18,31%), Tensile σ Yield (398,98 Mpa), dan Tensile σ Max (522,87 MPa). Sedangkan pada spesimen 110 Amper memiliki nilai tertinggi pada Regangan ϵ (15,34%), Tensile σ Yield (386,36 Mpa), dan Tensile σ Max (518,08 MPa).

Oleh karena itu, nilai rata-rata keuletan dari semua data pengujian tarik, bahwa pada pengelasan spesimen pada arus 90 Amper paling besar dibandingkan spesimen pada 110 Amper.

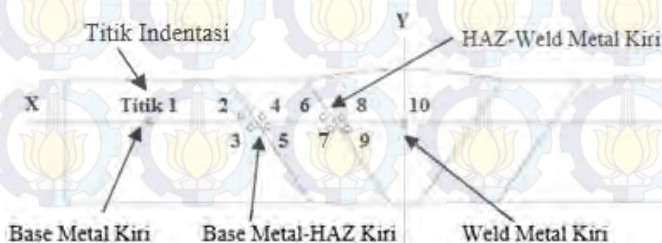
Maka dari itu, menunjukkan bahwa nilai variasi arus mempengaruhi nilai kekuatan tarik las dan nilai kekuatan tarik ini sebanding dengan peningkatan efisiensi pengelasan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi las berpengaruh terhadap kekuatan tarik dimana semakin tinggi efisiensi las semakin tinggi kekuatan tariknya.

Letak patahan semua spesimen berada di daerah Base Metal, karena pada proses awal pengelasan terjadi Multi layer yaitu proses pengelasan pada logam induk mendapat masukan panas postheat dan preheat yang berkali-kali. Sehingga dari WPS (Welding Prosedure System) yang benar dan hasil dari pengelasan tidak mengalami cacat las pada sambungan di logam induk.

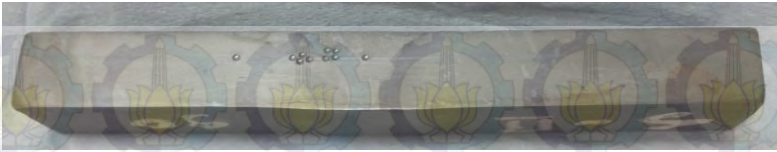
4.3 Uji Kekerasan (*Hardness Rockwell B*)

Pada pengujian kekerasan masing masing dilakukan pada 10 titik diantaranya 1 titik *Base Metal*, 4 titik antara *Base Metal* dengan *HAZ*, 4 titik antara *HAZ* dengan *Weld Metal*, dan 1 titik *Weld Metal* untuk 2 spesimen. Yaitu 3 bidang masing-masing spesimen 90 Amper dan 110 Amper. Lokasi indentasi hardness dapat dilihat pada Gambar 4.10 dibawah ini

Untuk lebih jelasnya pada setiap material yang dilakukan variasi *amper* akan di tampilkan *test piece* yang telah dilakukan uji kekerasan *rockwell (HRB)*, sebagai berikut.



Gambar 4.15 Lokasi indentasi uji kekerasan



Gambar 4.16 Lokasi indentasi pada benda sebenarnya

Dari proses pengujian kekerasan didapatkan hasil dari pengujian kekerasan, dalam pengujian kekerasan ini sampel uji yang diambil harus banyak karena perbedaan dari satu tempat ketempat lainnya supaya bisa terpantau dengan baik, apakah terdapat data uji kekerasan yang patut di curigai atau tidak, bila hasil uji mengalami perbedaan yang mencolok benda uji tersebut patut dicurigai apakah terdapat cacat atau tidak pada saat indentasi dilakukan. Dan dilakukannya uji kekerasan untuk mengetahui titik pasti batas daerah *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*.

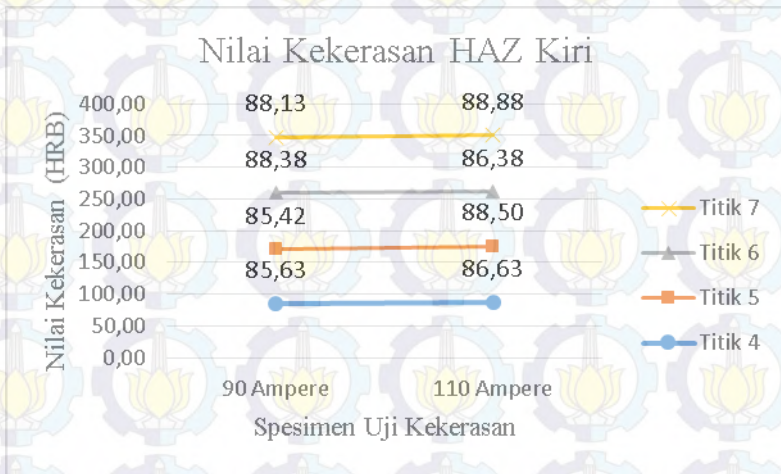
Untuk mengetahui hasil dari uji kekerasan, akan ditampilkan tabel dan grafik hasil dari pengujian kekerasan benda kerja sebagai berikut:

Tabel 4.7 Data Hasil Uji Kekerasan

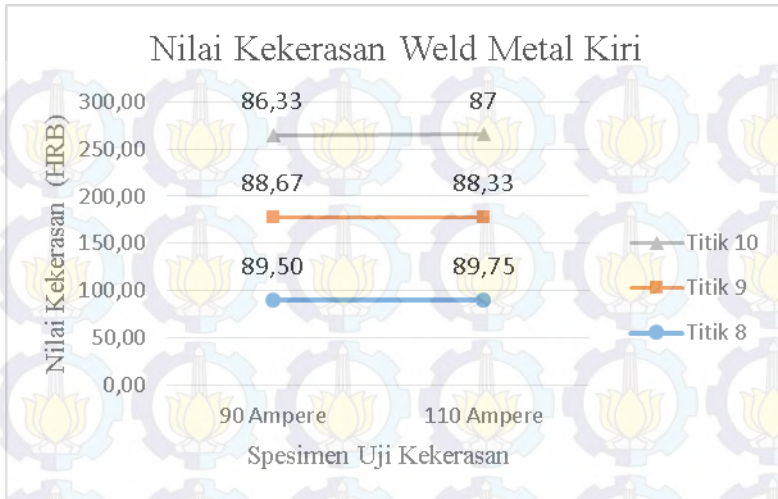
Arus Listrik	Bidang	Lokasi Pengujian Uji Kekerasan (HRB)									
		Base Metal Kiri			HAZ Kiri			Weld Metal Kiri			
		Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5	Titik 6	Titik 7	Titik 8	Titik 9	Titik 10
90 Amper	I Spesimen 1	79	82	84	88	87,5	87,5	88	88	90	86
	II Spesimen 1	82	82,5	84,5	85,5	88,5	87,5	88	87,5	89,5	86
	III Spesimen 2	80	81	84	89	88,5	87	90	89	92	87
Rata-Rata		80,33	85,38	85,25	85,63	85,42	88,38	88,13	89,50	88,67	86,33
110 Amper	I Spesimen 1	82	86	84	85,5	88	86	85,5	88	86	85,5
	II spesimen 1	97	92	94	94	92	88	89	89	89,5	87,5
	III Spesimen 2	79	83	86,5	87	90	89	88	91	91	88
Rata-Rata		86,00	85,88	93,00	86,63	88,50	86,38	88,88	89,75	88,33	87
Keterangan :											
BM = Base Metal											
HAZ = Heat Affected Zone											
WM= Weld Metal											



Gambar 4.17 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada Base Metal sebelah Kiri



Gambar 4.18 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada HAZ sebelah Kiri

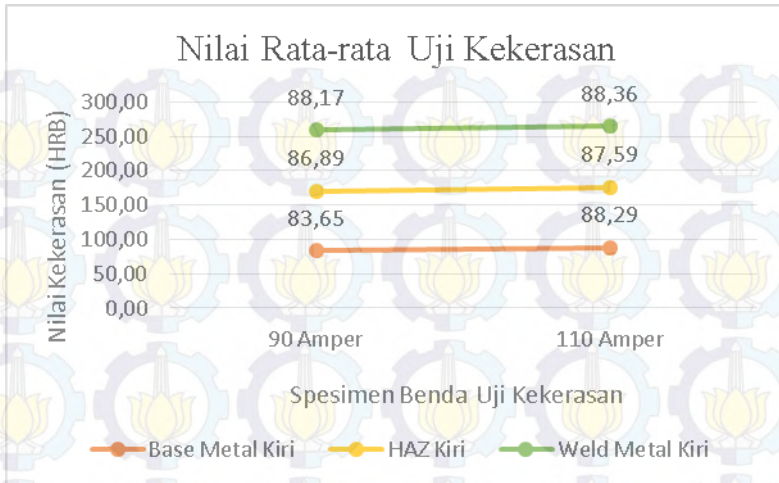


Gambar 4.19 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan pada Weld Metal sebelah Kiri

Data diatas merupakan data primer dari hasil uji kekerasan yang selanjutnya akan dibuat tabel dari rata-rata uji kekerasan untuk membuat grafik uji kekerasan agar, perbedaan nilai dari uji kekerasan dapat dibaca dengan baik. Berikut tabel nilai dari rata-rata uji kekerasan.

Tabel 4.8 Nilai Rata-rata Kekerasan

Nilai Rata-rata Uji Kekerasan (HRB)		
Titik Indentasi	90 Amper	110 Amper
Base Metal Kiri	83,65	88,29
HAZ Kiri	86,89	87,59
Weld Metal Kiri	88,17	88,36
Keterangan :		
BM = Base Metal		
HAZ = Heat Affected Zone		
WM= Weld Metal		



Gambar 4.20 Grafik Nilai Rata-rata Uji Kekerasan

Dari grafik uji kekerasan yang ditampilkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi pada spesimen arus listrik 90 amper pengelasan terdapat pada daerah Weld Metal sebelah kiri yaitu 88,17 HRB dan pada spesimen arus 110 amper pengelasan terdapat daerah Weld Metal sebelah kiri yaitu 88,36 HRB. Karena semakin besar masukan panas, maka laju pendinginan semakin lama. Sebaliknya semakin kecil masukan panas, maka laju pendinginan cepat.

Nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah di daerah Base Metal pada spesimen arus 90 Amper yaitu 83,65 HRB dan pada spesimen arus 110 Amper yaitu 88,29 HRB. Karena di bagian Base Metal tidak mengenai perlakuan panas. Nilai kekerasan tidak boleh melebihi 100 HRB. Dari nilai rata-rata kekerasan paling tinggi pada variasi arus listrik 90 dan 110 ampere terdapat di daerah Weld Metal.

4.4 Analisa Pengujian *Metalography*

Pengujian metalography yang dilakukan yaitu makro test, Makro test dilakukan setelah material dilakukan proses pengetsaan menggunakan larutan Alkohol+HNO₃ dengan perbandingan 95:5, pengujian makro bertujuan untuk melihat

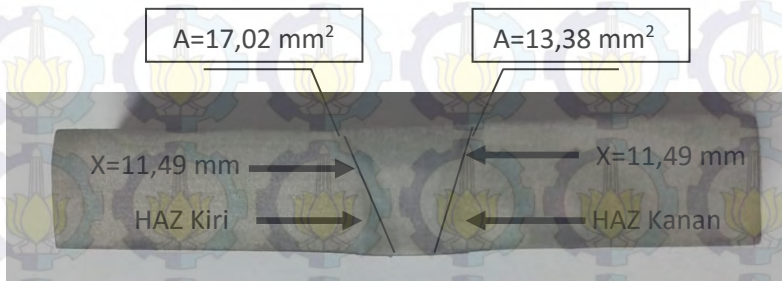
secara visual hasil dari las meliputi *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*. Bagaimana luas dari *HAZ*, apakah terjadi perbedaan luasan dan lebar *HAZ* dari hasil pengelasan arus 90 amper dan 110 amper yang telah dilakukan.

4.4.1 Pengujian Makro

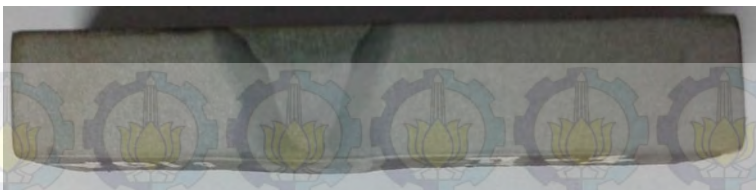
Hasil dari pengujian makro ditampilkan pada gambar berikut:



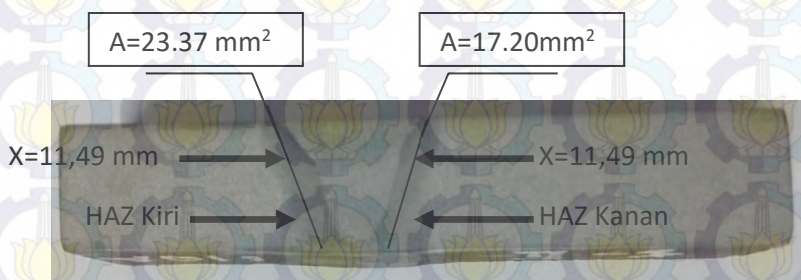
Gambar 4.21 HAZ hasil pengelasan arus listrik 90 Ampere



Gambar 4.22 Dimensi HAZ hasil pengelasan arus listrik 90 Ampere



Gambar 4.23 HAZ hasil pengelasan arus listrik 110 Ampere



Gambar 4.24 Dimensi HAZ hasil pengelasan arus listrik 110 Ampere

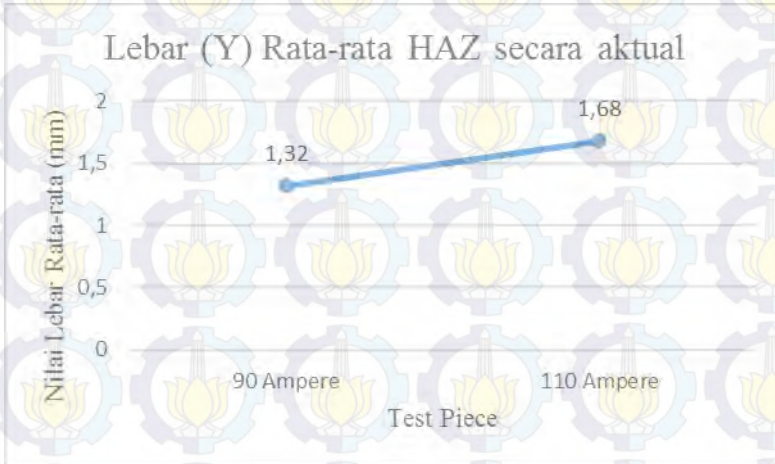
Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari *HAZ* dalam tabel berikut ini beserta grafiknya :

Tabel 4.9 Data Hasil HAZ

Test Piece	Data Luas, Panjang dan Lebar HAZ					
	HAZ Kiri			HAZ Kanan		
	A	X	Y	A	X	Y
90 Ampere	17.02 mm ²	11.49 mm	1.48 mm	13.38 mm ²	11.49 mm	1.16 mm
110 Ampere	23.37 mm ²	11.49 mm	1.87 mm	17.20 mm ²	11.49 mm	1.49 mm
keterangan :						
A (Luas HAZ)						
X (Panjang / Tinggi Acuan HAZ)						
Y (Lebar rata-rata HAZ pada 1 bidang)						

Tabel 4.10 Lebar (Y) rata-rata HAZ secara aktual

Test Piece	Lebar (Y) HAZ Kiri	Lebar (Y) HAZ Kanan	Lebar (Y) Rata-rata HAZ
90 Ampere	1.48 mm	1.16 mm	1.32 mm
110 Ampere	1.87 mm	1.49 mm	1.68 mm

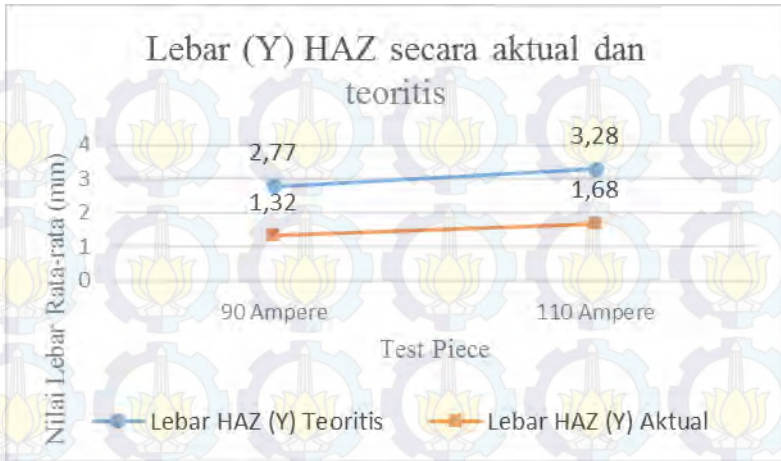


Gambar 4.25 Grafik nilai Lebar (Y) rata-rata HAZ secara aktual

Berikut tabel 4.11 dan gambar 4.26 dibawah yang menjelaskan perbandingan nilai lebar *HAZ* secara aktual dan teoritis beserta grafiknya :

Tabel 4.11 Lebar (Y) HAZ secara teoritis

Test Piece	Lebar (Y) HAZ Aktual	Lebar (Y) HAZ Teoritis
90 Ampere	1.32 mm	2.77 mm
110 Ampere	1.68 mm	3.28 mm



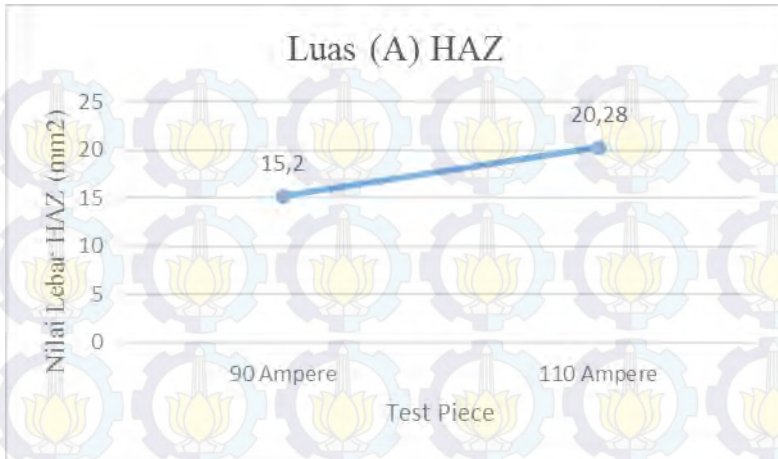
Gambar 4.26 Grafik nilai Lebar (Y) HAZ secara teoritis

Dapat disimpulkan bahwa nilai lebar *HAZ* lebih besar pada spesimen variasi arus listrik 110 ampere dari pada 90 ampere dari hasil secara aktual maupun secara teoritis.

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar *HAZ* maka data ditampilkan dalam bentuk table dan grafik luasan sebagai berikut:

Tabel 4.11 Luas (A) Total HAZ

Test Piece	Luas (A) HAZ (mm ²)		
	Luas (A) HAZ Kiri	Luas (A) HAZ Kanan	Luas (A) Total HAZ
90 Ampere	17.02 mm ²	13.38 mm ²	15.2 mm ²
110 Ampere	23.37 mm ²	17.20 mm ²	20.28 mm ²



Gambar 4.27 Grafik Luas Total HAZ (A)

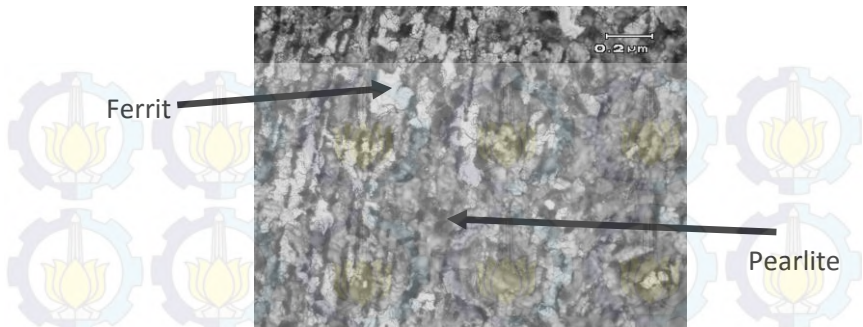
Lebar dari *HAZ* tergantung dari beberapa factor salah satunya *Heat Input*. Dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat variasi arus amper. Variasi arus amper inilah yang mempengaruhi dari lebar *HAZ*. Lebar *HAZ* ini juga berpengaruh terhadap luasan dari *HAZ* semakin lebar *HAZ*, maka luas *HAZ* semakin lebar.

Maka dari data yang ditampilkan oleh tabel dapat disimpulkan bahwa lebar dari *HAZ* juga di pengaruhi oleh variasi arus amper pengelasan. Benda uji ini dilakukan proses pendinginan suhu ruang atau tidak dilakukan proses preheat dan treatment maka lebarnya luasan *HAZ* cenderung lebih kecil.

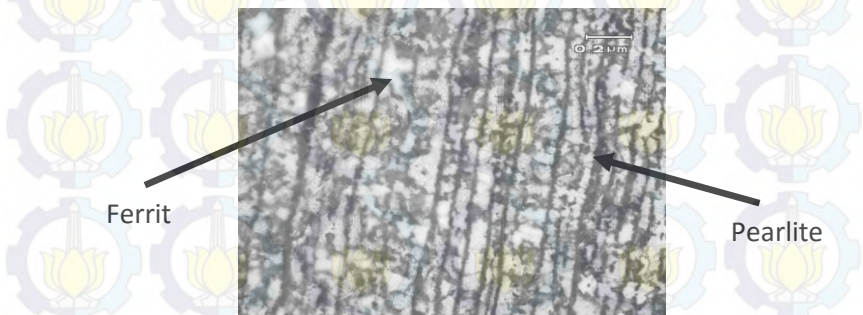
Menurut hasil yang didapat pada luas *HAZ* pada tabel disimpulkan bahwa apabila dari specimen yang dkenai treatment temperatur tinggi akan terjadi penurunan ukuran lebar *HAZ* bahkan tidak ada luas dan lebar *HAZ*.

4.4.2 Pengujian Mikro

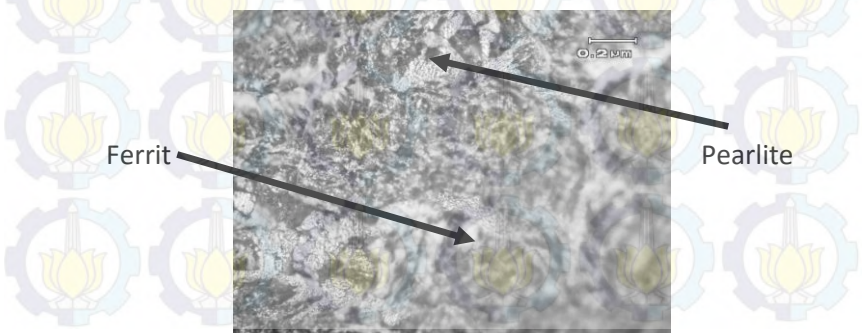
Hasil dari pengujian mikro spesimen 90 Amper dan 110 Amper ditampilkan pada gambar berikut:



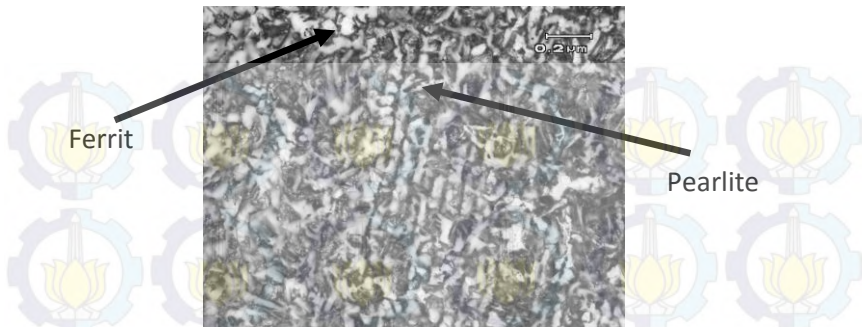
Gambar 4.28 Struktur Mikro bagian Base Metal pada pengelasan arus listrik 90 Ampere



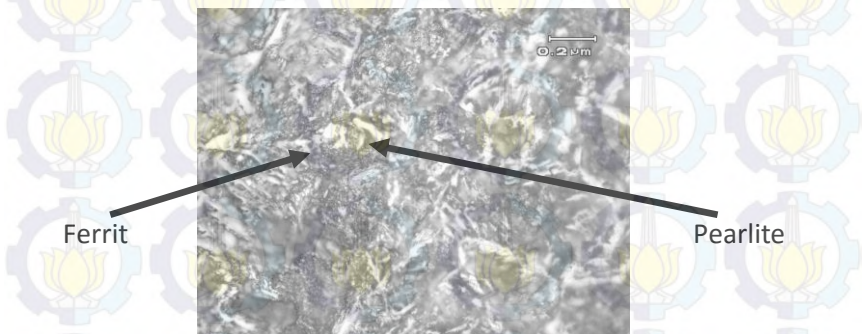
Gambar 4.29 Struktur Mikro bagian HAZ pada pengelasan arus listrik 90 Ampere



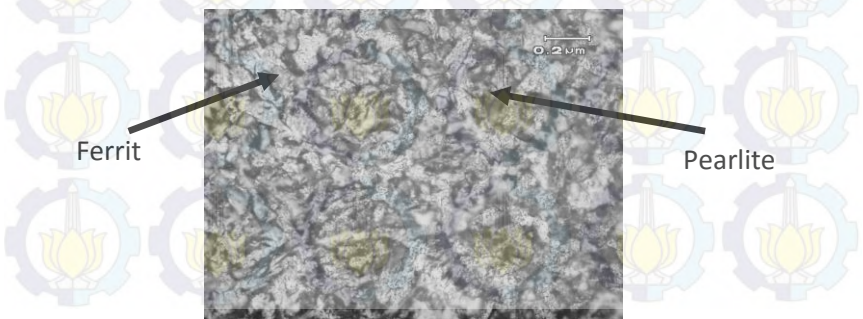
Gambar 4.30 Struktur Mikro bagian Weld Metal pada pengelasan arus listrik 90 Ampere



Gambar 4.31 Struktur Mikro bagian Base Metal pada pengelasan arus listrik 110 Ampere



Gambar 4.32 Struktur Mikro bagian HAZ pada pengelasan arus listrik 110 Ampere



Gambar 4.33 Struktur Mikro bagian Weld Metal pada pengelasan arus listrik 110 Ampere

Berdasarkan hasil struktur mikro dengan 500x perbesaran lensa mikroskop pada specimen yang di las dengan arus listrik 90 dan 110 Ampere di atas. Bahwa terbentuknya struktur mikro hanya *Ferrit* dan *pearlite* akibat terjadinya perpindahan panas pada saat proses pengelasan.

Oleh sebab itu, yang terbentuk struktur mikronya pada specimen yang di las dengan variasi arus listrik 90 dan 110 Ampere terbentuknya strukture mikro semua sama. Yaitu *Ferrite* dan *Pearlite* dengan kadar karbon kurang dari 0,8%. *Ferrite* berbentuk padatan seperti plat, berwarna abu-abu terang dan sifat mekaniknya lunak dan ulet seperti kondisi besi murni. Dan *Pearlite* berbentuk pipih atau berlapis, berwarna kehitaman dan sifat mekanik lunak.

4.5 Hubungan antara Kekerasan dan Tarik terhadap Mikro Struktur

Pada teorinya material *low carbon steel* memiliki jenis *microstructure* yang sangat mempengaruhi *mechanical properties* suatu material. Sehingga pada penelitian ini akan dijelaskan antara pengujian Tarik, hardness dan *microstructure*. Semakin tinggi kekerasan, maka material tersebut mempunyai sifat keuletan yang rendah. Begitu juga terjadi sebaliknya.

Pada material SA 36 pengelasan mempunyai *microstructure* pada *Base Metal* berupa *Ferrite* dan *Perlite*. Akan tetapi beda halnya di daerah *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal* yang mempunyai *microstructure* berupa *Ferrite* dan *Pearlite*. Sehingga jika dihubungkan dengan nilai kekerasan paling rendah daerah *Base Metal* adalah daerah yang tidak terpengaruh adanya proses pengelasan. Sehingga nilai kekerasan relative sama dengan variable yang lainnya. Tetapi daerah *Weld Metal* menunjukkan nilai kekerasan paling tinggi.

Pada material SA 36 proses pengerjaan logamnya menggunakan *Hot Working*. Keuntungannya energi deformasi relative rendah dan meningkatkan ke uletan benda kerja. Kerugiannya terjadi oksidasi pada permukaan logam atau sebagian menjadi karat. Terjadi penurunan kualitas permukaan akibat ter-*rolling* lapisan oksida.



BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh variasi beda ampere pengelasan dengan masing masing ampere dikenai 90 ampere dan 110 ampere terhadap perubahan kekerasan dan keuletan pada pengelasan material SA 36, dapat disimpulkan bahwa:

1. Mengetahui nilai uji tarik dari hasil pengelasan arus listrik 90 ampere dan 110 ampere pada kampuh V. Hasil rata-rata paling tinggi pada spesimen arus listrik 90 ampere Regangan (ϵ) 18,31%, Tegangan (σ) Yield 398,98 MPa, dan Tegangan (σ) Max 522,87 MPa. Terjadi patah pada semua spesimen di daerah *Base Metal*. Di karenakan *Multi Layer* pada proses pengelasan. Semua spesimen bersifat ulet. Bentuk patahan diketahui dengan melihat warna patahan buram atau tidak mengkilap.
2. Mengetahui nilai uji kekerasan dari *Base Metal*, *Weld Metal* dan *HAZ* dari variasi arus listrik 90 ampere dan 110 ampere Hasil pengujian *Hardness Rockwell B*. Bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk pada spesimen arus listrik 110 ampere pengelasan terdapat pada daerah *Weld Metal* yaitu 88,36 HRB. Karena semakin rendah ampere, maka nilai kekerasan dari material akan turun dan nilai keuletannya meningkat.
3. Mengetahui lebar *HAZ* dari variasi arus listrik pengelasan 90 ampere dan 110 ampere. Pada hasil makro etsa didapatkan bahwa lebar *HAZ* pada spesimen variasi arus listrik 90 ampere nilai lebar rata-rata *HAZ* kiri dan kanan 1,32 mm. Pada spesimen variasi arus listrik 110 ampere nilai lebar *HAZ* kiri dan kanan 1,68 mm. Sedangkan hasil secara teoritis didapatkan nilai lebar *HAZ* pada spesimen variasi arus listrik 90 dan 110 ampere yaitu 2,77 mm dan 3,28 mm. Karena semakin besar masukan panas, maka laju pendinginan semakin lama. Sebaliknya semakin kecil masukan panas, maka laju pendinginan cepat.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

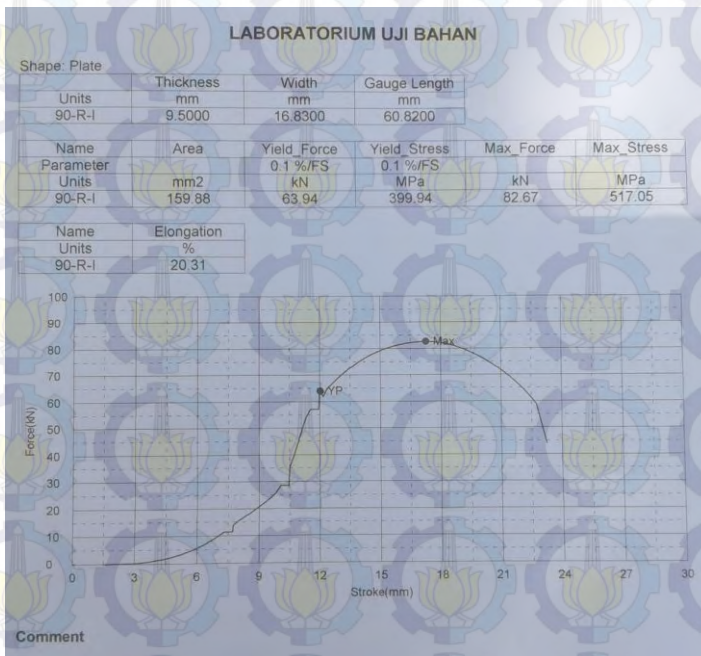
1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekerasan dan ketangguhan dari material, untuk selanjutnya bisa dilakukan dengan pengujian *Impact Test* dan *Bend Test*.
2. Pada penelitian ini suhu antar *pass* atau *layer* tidak terkontrol, pada penelitian selanjutnya pengontrolan suhu antar *pass* atau *layer* dapat dilakukan dengan menggunakan alat *termogun*.

[illegible]

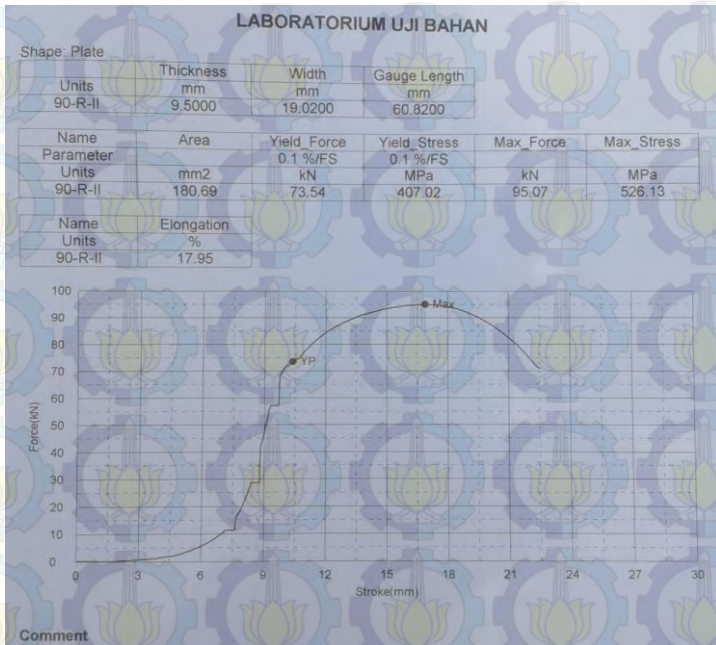
QW-462.1(a) TENSION — REDUCED SECTION — PLATE

Lampiran 2

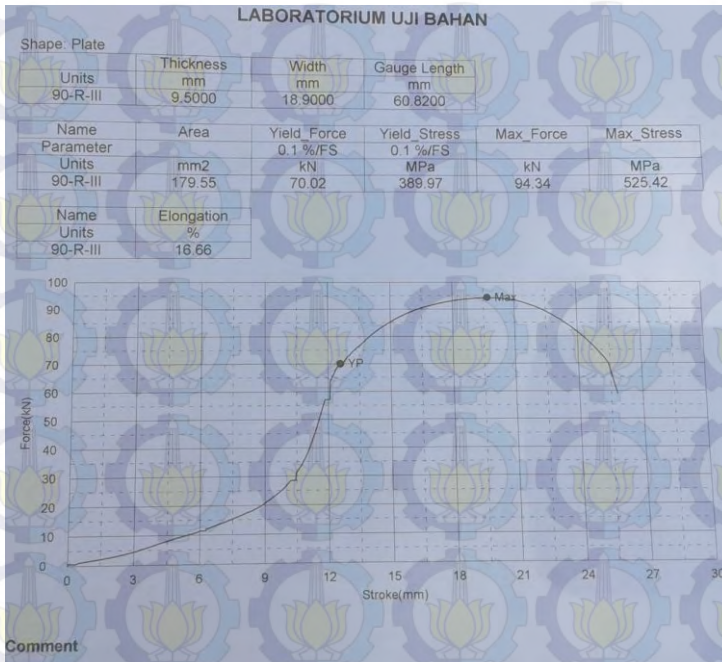
Hasil Uji Tarik Bahan 90 Ampere



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

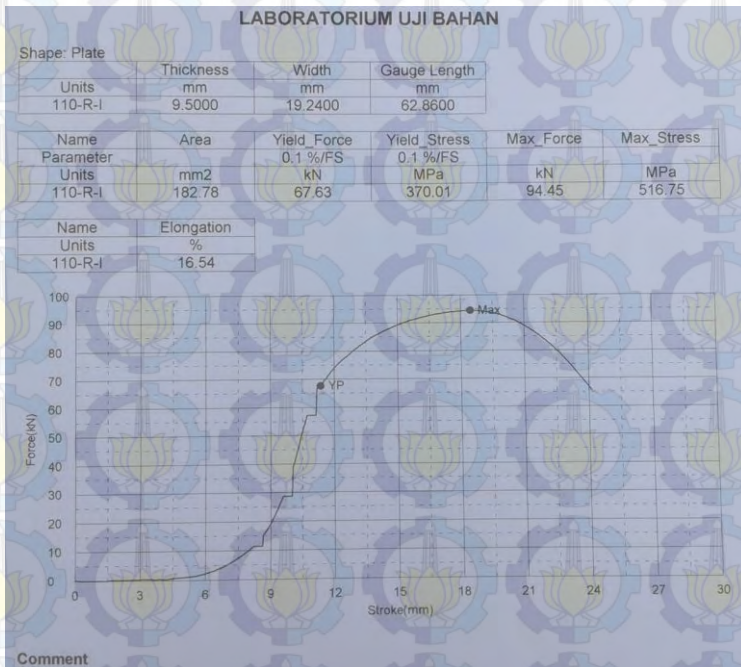


Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan

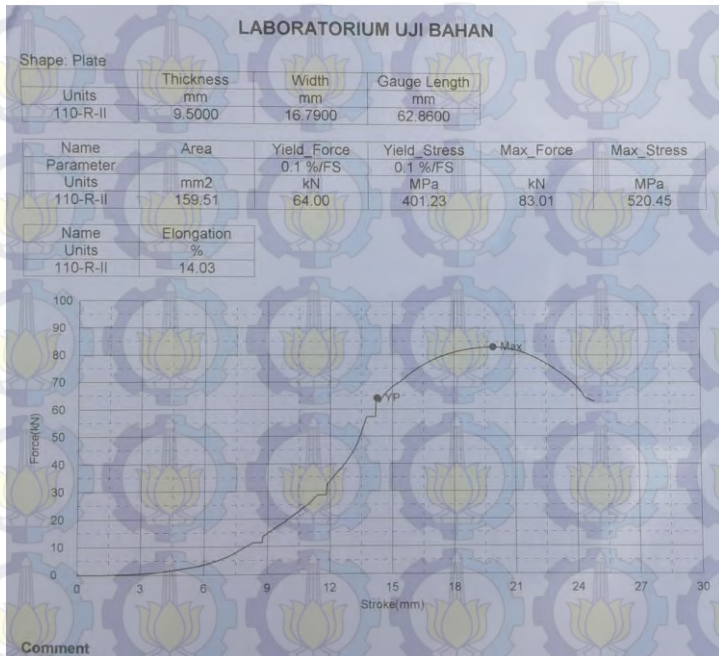


Lampiran 3

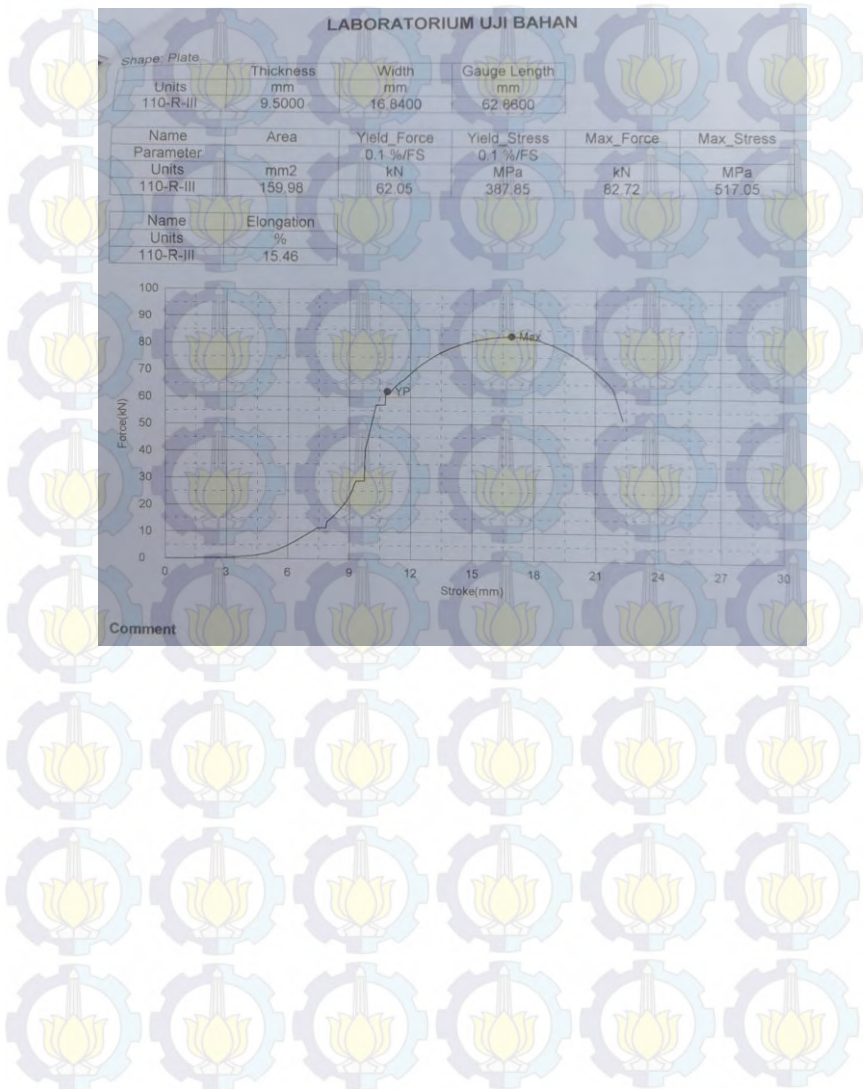
Hasil Uji Tarik Bahan 110 Amper



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



Hasil Uji Tarik Bahan: Lanjutan



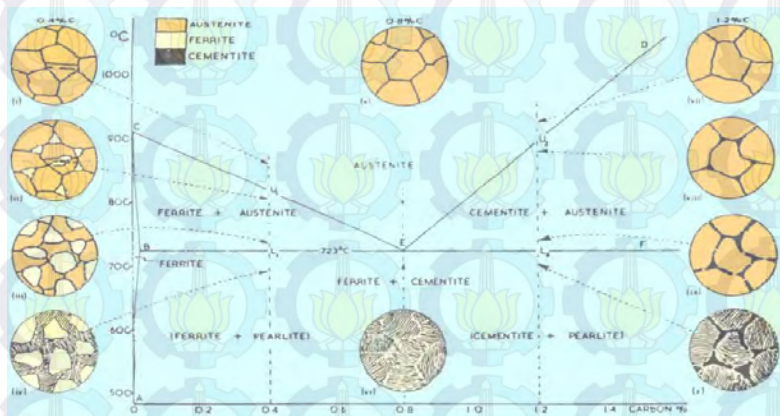
The figure consists of two main parts: an Iron-Carbon phase diagram at the top and a series of micrographs illustrating microstructural evolution at the bottom.

Iron-Carbon Phase Diagram (Top):

- Axes:** The y-axis represents Temperature in °C (left) and °F (right). The x-axis represents Carbon content in % (bottom), ranging from 0 to 6.67%.
- Legend:**
 - γ = Austenite
 - α = Ferrite
 - δ = Delta iron
 - CM = Cementite
- Key Features:**
 - ACM:** Austenite solid solution of carbon in gamma iron.
 - 2066°F:** A critical temperature point.
 - 1323°F:** The eutectoid temperature.
 - 723°C:** The eutectoid temperature in °C.
 - 0.008% and 0.0008%:** Carbon solubility limits in ferrite at 723°C.
 - Regions:** Hypo-eutectoid and Hyper-eutectoid.
 - Phases:** Austenite, Ferrite, Pearlite, Cementite, L (Liquid), Fe₃C (Cementite), and transformed ledeburite.

Microstructural Evolution (Bottom):

- Legend:**
 - AUSTENITE (Yellow)
 - FERRITE (White)
 - CEMENTITE (Black)
- Micrographs (a-i):**
 - (a) 0.4% C:** Shows a mixture of Austenite and Ferrite.
 - (b) 0.8% C:** Shows a mixture of Austenite and Ferrite.
 - (c) 1.2% C:** Shows a mixture of Austenite and Ferrite.
 - (d) 0.4% C:** Shows a mixture of Ferrite and Austenite.
 - (e) 0.8% C:** Shows a mixture of Ferrite and Austenite.
 - (f) 1.2% C:** Shows a mixture of Ferrite and Austenite.
 - (g) 0.4% C:** Shows a mixture of Ferrite and Cementite.
 - (h) 0.8% C:** Shows a mixture of Ferrite and Cementite.
 - (i) 1.2% C:** Shows a mixture of Ferrite and Cementite.



DAFTAR PUSTAKA

1. American Society of Mechanical Engineers Section IX, 2010, *Welding and Brazing Qualifications*.
2. American Society of Mechanical Engineers Section II, 2010, *Ferrous Material Specifications*.
3. *ASM Handbook Vol. 1, 8th edition. 2005. Properties and Selection Irons, Steels dan High- Performance Alloys*.
4. Callister, William D Jr. 2007. An Introduction Material Science and Engineering, 7th edition
5. Khan Ibrahim Md. B, Sc. Engg. (Mech.), M.E (Prod.), Ph.D., F.I.E. 2007. Welding Science And Technology. *Thermal and Metallurgical Considerations in Welding*. Integral University, Lucknow.
6. Prasajo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
7. Schell, Frank R., 1979, *Industrial Welding Prosedures*, Delmar Publishers Inc, Albany, New York USA
8. Widiyono, Eddy, Suhariyanto, Hadi, Syamsul. 2011. *Teori Dan Praktikum Ilmu Bahan* Surabaya: Program Studi D3 Teknik Mesin FTI – ITS Kerjasama PT PLN.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Fahrudy Dwi Wicaksono lahir di Kota Serang Banten Jawa Barat, pada tanggal 14 Agustus 1992. Bertempat tinggal di Desa Betek Selatan Mojoagung Jombang. Penulis merupakan anak Ketiga bersaudara.

Pendidikan formal yang telah ditempuhnya yaitu pada tahun 1999-2005 bersekolah di MI Sulaimaniyah Kauman Mojoagung Jombang, Kemudian pada tahun 2005-2008 melanjutkan di SMPN 2 Janti Mojoagung Jombang, dan pada tahun 2008-2011 melanjutkan ke SMAN 1 Bareng Jombang. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan di Perguruan Tinggi Negeri di Surabaya, dengan mengambil Program Studi D3 Teknik Mesin Reguler FTI-ITS dalam bidang studi manufaktur.

Penulis sempat melakukan Kerja Praktek di PT. AJINOMOTO INDONESIA di Kota Mojokerto selama 1 bulan dalam mata kuliah akademik semester 5.

Penulis juga sempat aktif di beberapa kegiatan yang diadakan oleh Himpunan D3 Teknik Mesin, mulai dari pelatihan sebagai peserta maupun panitia. Serta mengikuti organisasi himpunan sebagai Staf Ahli Bengkel juga menjadi Asisten Laboratorium Teknik Perawatan (Teknologi Mekanik) selama 3 periode kepengurusan dalam akademik.

Motto Hidup, “ Saya Kerja Keras Karena Saya Sadar, Saya Bukan Penikmat Harta Orang Tua”.